

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Univerzitní studijní programy
Katedra automatizační techniky a řízení

Laboratorní model linky s rozpoznáváním obrazu
výstupní kontroly dílů

Laboratory Model of Production Line with Image
Recognition for Output Checking

Student:

Maksim Kliuchnikau

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Kulháněk, Ph.D.

Ostrava 2017

Zadání bakalářské práce

Student: **Maksim Kliuchnikau**
Studijní program: B3943 Mechatronika
Studijní obor: 3906R006 Mechatronické systémy
Téma: **Laboratorní model linky s rozpoznáváním obrazu výstupní kontroly dílů**
Laboratory Model of Production Line with Image Recognition for
Output Checking

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s prostředím NI Vision Builder a existujícím laboratorním modelem rozpoznávání obrazu na dopravníkové lince.
2. Navrhněte a realizujte HW rozšíření/úpravu modelu pro práci s větším množstvím typů objektů.
3. Realizujte úlohu v SW Vision Builder umožňující automatickou inspekci výrobků na modelu dopravníkové linky.
4. Zhodnot'te dosažené výsledky a navrhněte další rozšíření laboratorního modelu.

Seznam doporučené odborné literatury:

Vlach J., Havlíček J., Vlach M. Začínáme s LabVIEW, 2008, PRAHA, BEN, ISBN 978-80-7300-245-9.
Sojka, E. Digitální zpracování a analýza obrazů, Ostrava VŠB, 2000. 133s. ISBN 80-7078-746-5.
Hlaváč, V. Sedláček, M. Zpracování signálů a obrazů, Praha - ČVUT, 2007. 255s. ISBN 978-80-01-03110-0.
G.U.N.T Gerätebau GmbH. IA 210 PLC Application: Materials Handling Process, Barsbüttel, Germany, 2013, 3s. dostupné online z
<http://www.gunt.de/networks/gunt/sites/s1/mmcontent/produktbilder/05821000/Datenblatt/05821000%202.pdf>
Frýdl, J. Rozpoznávání obrazu v prostředí NI Vision Builder, 2012, Bakalářská práce, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta strojní.
Frýdl, J. Automatizace modelu výrobní linky s využitím rozpoznávání obrazu, 2014, Diplomová práce,

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kulháněk, Ph.D.**

Datum zadání: 20.10.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017




doc. Ing. Renata Wagnerová, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Petr Noskiewicz, CSc.
prorektor pro studium

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:

.....

Maksim Kliuchnikau

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....

Maksim Kliuchnikau

Maksim Kliuchnikau

Lopuchová 79/20

71100 Antošovice

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KLIUCHNIKAU, Maksim. *Laboratorní model linky s rozpoznáváním obrazu výstupní kontroly dílů: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Univerzitní studijní programy, Katedra automatizační techniky a řízení, 2017, 46 s. Vedoucí práce: Kulhánek, J.

Hlavním cílem této bakalářské práce je seznámení s problematikou rozpoznávání obrazu a programem NI Vision Builder; návrh rozšíření/úpravy modelu jednoduché dopravníkové linky pro práci s větším množstvím typů objektů a realizace řízení této linky počítačem. V teoretické části práce je popsáno rozpoznávání obrazu, uživatelské rozhraní programu NI Vision Builder, původní a dále (pomocí kamerového systému) rozšířený model dopravníkové linky IA 210. Následně najdeme popsany způsob komunikace linky s počítačem a její navržené hardwarové rozšíření. V poslední části se práce zabývá realizací jednoduché úlohy, umožňující automatickou inspekci výrobků na modelu dopravníkové linky. V závěru budou zhodnoceny výsledky a popsány další možnosti rozšíření linky IA 210.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KLIUCHNIKAU, Maksim. *Laboratory Model of Production Line with Image Recognition for Output Checking: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB- Technical University of Ostrava, University Study Programmes, Department of Control Systems and Instrumentation, 2017, 46 p. Thesis head: Kulhánek, J.

The main goal of this bachelor thesis is acquaintance with the issue of image recognition and program NI Vision Builder; proposal of extension/modification of the model of a simple conveyor line for working with a larger number of object types and realization of control of this line by a computer. In the theoretical part of the thesis there are described: image recognition, user interface of NI Vision Builder, original and extended (by adding camera system) model of conveyor line IA 210. Afterwards we can find an explanation of the method of communication between line and computer and its proposed hardware extension. The last part of the thesis deals with the realization of a simple task, enabling the automatic inspection of products on the model of the conveyor line. The end of the thesis is the evaluation of the results and discussion of further possibilities of expanding the IA 210 line.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Rozpoznání obrazu	10
2.1	Zpracování obrazu	10
2.2	Perspektivní zobrazení.....	11
2.3	Reprezentace obrazu.....	12
2.4	Digitální obraz	14
2.5	Získání snímku pomocí kamery	15
3	Seznámení s NI Vision Builder	16
3.1	Popis NI Vision Builder	16
3.2	Konfigurační rozhraní VB	17
3.3	Tlačítka pro nastavení modu inspekce	18
3.4	Paleta inspekčních nástrojů	19
3.5	Stavový diagram	19
3.6	Inspekční rozhraní VB.....	20
4	Dopravníková linka GUNT IA 210.....	21
4.1	Popis původní linky	21
4.2	Funkce IA 210:	21
4.3	Dříve modifikovaná linka.....	23
4.4	Kamerový systém	23
4.5	Komunikace linky a kamerového systému s počítačem.....	24
5	Rozšíření modelu	27
5.1	Funkčnost původní linky	27
5.2	Funkčnost linky s kamerovým systémem	27

5.3	V návaznosti na rozšíření problematiky	28
5.4	Navržené řešení	29
5.5	Hmotnostní problém	30
5.6	Příprava linky pro realizaci inspekční úlohy	32
6	Automatická úloha při třídění součástek	33
6.1	Cyklus úlohy	33
6.2	Část ovládání linky	35
6.3	Část získání obrázku a jeho posouzení	36
6.4	Fáze druhé části cyklu	37
6.5	Nástroj “Classifier”	42
6.6	Nástroj “Kalibrace snímku”	44
7	Závěr	45
8	Seznam použité literatury	46

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

B&W	Black and white – barevný model, černý a bílý
DAQ	Data Acquisition – sběr dat
DI	Digital Input – digitální vstup
DO	Digital Output – digitální výstup
Dpi	bodů na palec
GND	Ground – Zem
HSI	Hue-Saturation-Intensity – Tón-Nasycení-Intenzita
HW	Hardware
IA 210	název původního modelu od firmy GUNT
LCD	Liquid Crystal Display
MAX	Measurement and Automation Explorer
NI	National Instrument
PC	Personal Computer – osobní počítač
PLC	Programmable Logic Controller – programovatelný logický automat
Ppi	pixelů na palec
QR	Quick Response – dvourozměrný čárový kód
RGB	Red-Green-Blue – barevný model, červený, zelený a modrý
SW	Software
USB	Universal Serial Bus – univerzální sériová sběrnice
VB	Vision Builder

1 Úvod

V současné době díky rozvoji a každoročnímu zdokonalení technologií se velice často v průmyslu můžeme setkat s pojmem "chytrá továrna", což je plně automatizované zařízení, které umožňuje výrobu nebo další akce s obrobky bez zapojení velkého počtu lidí. Jedním z jednoduchých příkladů takové továrny je dopravníková linka IA 210 od německé firmy GUNT, která je určena k simulaci procesů třídění nebo děrování obrobků. Po určité inovaci a přidání kamerového systému, tato linka představuje dobrý příklad chytré továrny, se kterou se seznámíme v průběhu této práce.

Na začátku najdeme úvod do problematiky rozpoznání obrazu a popíšeme prostředí počítačového programu NI Vision Builder, dále původní a modifikovaný obraz přidáním kamerového systému model linky IA 210.

Jelikož linka byla určena pouze pro proškolení a ukázkou automatizované továrny v původním stavu, byla celkem jednoduchá a neměla hodně funkcí, přičemž mohla pracovat pouze s černobílými válci určitých rozměrů. V roce 2014 byl přidán kamerový systém, který umožnil třídit válce podle dvou kritérií: barvy stěny a počtu teček na horní části válce. Bohužel, válce nejsou dobrým příkladem strojní součásti, proto se projekt zabývá existujícími fyzickými problémy linky, návrhem způsobu jejich řešení a realizací v praxi. K těmto úpravám patří navržení a realizace jednoduchého hrnku pro vkládání strojních součástek, úprava vlastností nádoby pro parametry existujícího zásobníku a senzoru přítomnosti objektu pod kamerou.

Dále práce pokračuje popisem komunikace linky s počítačem pomocí doplňkového konektoru a karty od firmy National Instruments. Následně zde najdeme kapitolu o testování linky na realizaci inspekční úlohy včetně výběru vhodného osvětlení.

Poslední kapitola se zabývá realizací jednoduché úlohy, umožňující automatickou inspekci výrobků na modelu dopravníkové linky, a popisem inspekčních nástrojů, využitých pro třídění zvolených obrobků.

2 Rozpoznání obrazu

V této kapitole se seznámíme s problematikou a procesem rozpoznání obrazu. Cílem této kapitoly je, aby se čtenář dokázal po přečtení této kapitoly sám orientovat v základních pojmech daného okruhu.

2.1 Zpracování obrazu

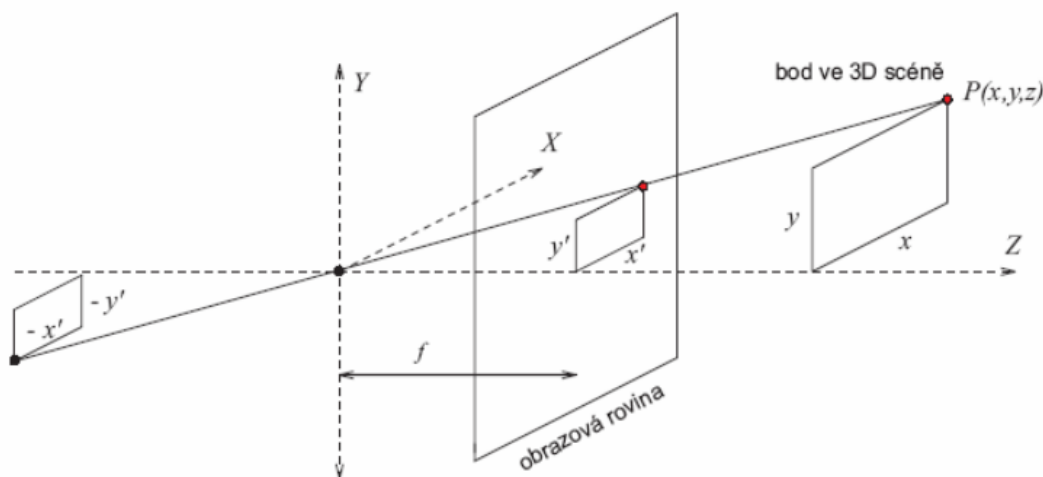
Zpracování obrazu může být chápáno jako součást zpracování (měřených) signálů. Obraz je vícerozměrný signál, se kterým se střetáváme neustále. Z obrazu můžeme zjišťovat např. velikost, polohu nebo průměrný jas vybraného objektu. Obraz budeme chápat v intuitivním smyslu, tj. jako obraz na sítnici lidského oka nebo obraz sejmutý kamerou. Obraz může být modelován matematicky pomocí spojitě skalární funkce f dvou nebo tří proměnných a budeme jí říkat **obrazová funkce**. V jednoduchém případě je statický obraz popsán obrazovou funkcí dvou souřadnic $f(x, y)$ v rovině. Obrazová funkce tří proměnných se použije v případě, kdy se plošné obrazy mění v čase t , tj. $f(x, y, t)$, nebo v případě objemových obrazů $f(x, y, z)$, např. u tomografu. Hodnoty obrazové funkce odpovídají některé měřené fyzikální veličině, např. jasu u obrazu z černobílé kamery, teplotě u termovizní kamery, atd. Pro skalární obrazovou funkci dvou proměnných $f(x, y)$ budeme používat generický název **intenzitní obraz**. V počítači pracujeme s digitalizovanými obrazy, kde je obrazová funkce $f(x, y)$ představovaná maticí. Prvky matice jsou obrazové elementy, jejichž hodnota je úměrná množství světelné energie. Plocha vzorku není nekonečně malá. Z hlediska dalšího zpracování digitalizovaného obrazu je obrazový element dále nedělitelná nejmenší jednotka. Širší pohled na zpracování obrazu poskytuje **počítačové vidění**, což je vědní obor, který se technickými prostředky snaží napodobit některé schopnosti lidského vidění. **Interpretace** obrazových dat je jádrem porozumění obrazu v počítačovém vidění. Interpretace znamená zobrazení: pozorovaná obrazová data \rightarrow model. Toto zobrazení využívá sémantiky, kde obrazy představují jisté objekty jako např. kontrolované součástky v průmyslové výrobě. Porozumění obrazu je potom založeno na znalosti, cílech, tvorbě plánů k jejich dosažení a využití zpětných vazeb mezi různými úrovněmi zpracování. Je zde zřejmá snaha napodobit proces vnímání u člověka a jemu podobný způsob rozhodování na základě informace obsažené v obraze [Hlaváč, V.; Sedláček, M., 2007].

Bohužel interpretace v úlohách počítačového vidění je složitý proces. Příčinou jsou:

1. *Ztráta informace při perspektivním zobrazení* původně trojrozměrné scény do dvojrozměrné obrazové roviny čidla kamery;
2. *Komplikovaný a nejednoznačný vztah mezi jasnem*, který měří kamera (a většina jiných obrazových senzorů), a tvarem povrchu 3D objektů ve scéně;
3. *Veliké množství obrazových dat*;
4. *Vztah mezi pozorovaným detailem a zjišťovaným celkem*;
5. *Šum*, který je v obraze reálné scény vždy přítomen.

2.2 Perspektivní zobrazení

Okolí a všechno, co můžeme kolem nás pozorovat, je trojrozměrné. Ve stejném čase je obrazová funkce dvojrozměrná a je výsledkem **perspektivního zobrazení** (středového promítání). Toto zobrazení je modelováno pomocí **dírkové komory**.



Obr. 1 Geometrie perspektivního promítání, převzato z [Hlaváč, V.; Sedláček, M., 2007]

Obrazová rovina tohoto modelu (viz obr. 1) je proti dírkové komoře zobrazena zrcadlově vzhledem k rovině xy, abychom nedostali obraz se zápornými souřadnicemi. x , y , z , jsou souřadnice bodu P (bod 3D scény) a f je vzdálenost obrazové roviny od středu promítání. Bod, promítnutý do 2D obrazové roviny, má pak souřadnice x' , y' . U objektivů je obrazová rovina umístěna v ohniskové vzdálenosti [Hlaváč, V.; Sedláček, M., 2007].

Pro perspektivní zobrazení platí:

$$x' = \frac{x f}{z} \quad y' = \frac{y f}{z}$$

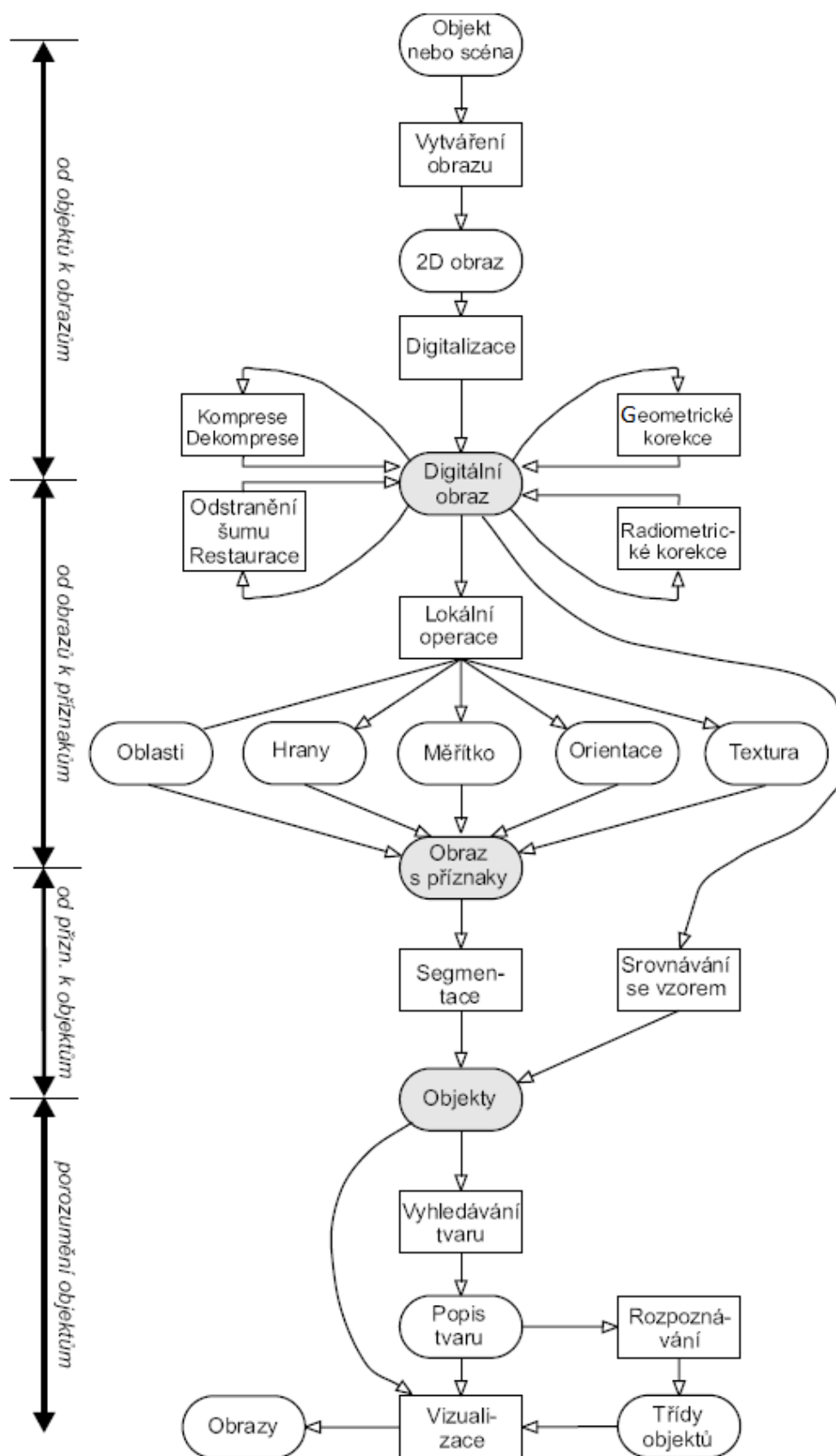
2.3 Reprezentace obrazu

"Úkolem vnímání obrazu počítačem je najít relaci mezi vstupním obrazem a vytvořenými modely reálného světa. Přechodem od vstupního obrazu k modelu se obrazová informace zhušťuje, a přitom se stále více využívá znalostí interpretace obrazových dat. Mezi vstupním obrazem a modelem (úplným popisem, interpretací, klasifikací) se definuje několik úrovní reprezentace obrazové informace. Počítačové vidění se potom skládá z návrhu těchto přechodových reprezentací a algoritmů pro jejich vytváření a zavedení vztahů mezi nimi.

Reprezentace obrazu lze podle organizace dat rozdělit do čtyř úrovní:

- "První, nejnižší *ikonickou* (napodobující) úrovní reprezentace jsou digitální obrazy, které stále mají podobu sejmutých obrazových dat, tj. celočíselné matice s údaji o jasu v příslušných bodech. Takové obrazy jsou i výstupem operací předzpracování (např. filtrace šumu, geometrických nebo radiometrických korekcí), které slouží pro vylepšení obrazu před dalším zpracováním.
- Druhou úrovní reprezentace jsou *příznaky*. Části obrazu jsou spojeny do skupin, které pravděpodobně patří k jednotlivým objektům. Například analýza scény s mnohostěny vyústí buď v hranové segmenty, nebo dvojrozměrné oblasti, které odpovídají stěnám těles. Při hledání příznaků je užitečná informace o konkrétním aplikačním oboru, tedy sémantika poskytující možnost obrazové signály alespoň částečně interpretovat. S jejím využitím se daří obejít šum a potíže s částečně chybnými obrazovými daty.
- Třetí úrovní reprezentace jsou *objekty*, které jsou výsledkem segmentace, tj. úplné interpretace obrazových dat. Ve složitějších úlohách se někdy podaří jen částečná segmentace, tj. interpretaci mají jen části obrazů, ale jejich interpretace jako objektů je možná až při dalším, spíše kvalitativním usuzování. Úplnou interpretaci se závěrem, že se jedná o šestiboký hranol (např. hlavu šestihranného šroubu), by bylo možné udělat až později.
- Čtvrtou, nejvyšší úrovní reprezentace obrazových dat jsou *relační modely*, které postihují kvantitativní i kvalitativní vlastnosti objektů v obraze. Zde počítačové vidění využívá technik rozpoznávání a umělé inteligence" [Hlaváč, V.; Sedláček, M., 2007].

Dále můžeme vidět celý proces zpracování obrazu (od vidění objektu až po získávání snímku) rozdělený na jednotlivé kroky, z kterých každý patří určité úrovni (viz obr. 2).



Obr. 2 Hierarchie úloh zpracování obrazu, převzato z [Hlaváč, V.; Sedláček, M., 2007]

2.4 Digitální obraz

Jelikož v dnešní době se většinou už používají *digitální snímky* a ve svém projektu budu pracovat s počítačovým programem, který pro rozpoznání obrobku takové snímky zpracuje, považuji za důležité se tímto pojmem zabývat. Takže co je digitální obraz? Digitální obrazy jsou vyrobeny z obrazových prvků nazývaných pixely. Obvykle pixely jsou organizovány v uspořádané obdélníkové pole. Velikost obrazu je určena rozměry tohoto pixelového pole. Šířka obrázku je počet sloupců, a výška obrázku je počet řádků v matici. Takže pole pixelů je matice M sloupců \times N řádků. Chcete-li odkazovat na konkrétní pixel v obrazové matici, definujeme jeho koordináty na x a y osách. Souřadnicový systém obrazových matic, definující x a y , má souřadný systém zleva doprava a shora dolů. Takže ve srovnání s běžnou matematickou konvencí je souřadnicový systém překlopen vertikálně. Velikost obrazu konkrétně popisuje počet pixelů v digitálním obraze. Reprezentace skutečného objektu digitálním snímkem vyžaduje jeden další faktor zvaný *rozlišení*. Rozlišení je prostorový rozsah obrazových bodů. Například obraz 3300x2550 pixelů s rozlišením 300 pixelů na palec (ppi) by odpovídal obrazu skutečné velikosti s rozměry 11" x 8,5". K objasnění pojmů rozlišení, *ppi* je "pixelů na palec", a *dpi* - "bodů na palec". Ppi popisuje pixelové pole, zatímco dpi popisuje rozlišení tiskárny. Ve skutečnosti jsou tyto dva termíny o rozlišení často používány zaměnitelně. Většina aplikací pro úpravu obrázků mají výchozí rozlišení 72 ppi. Po nastavení počtu obrazových bodů, $M \times N$, poskytuje pouze obdélníkový tvar pro náš obraz. Pro skutečnou definici obrazu je však potřeba ještě jednoho parametru, a to *intenzity*. Každý pixel má svou vlastní hodnotu intenzity. Pokud všechny pixely mají stejnou hodnotu, bude obraz mít jednotný odstín: černý, bílý, šedý, nebo nějaký jiný. Podle intenzity, použité pro každý pixel, se typy obrázků liší. Černobílé obrazy mají intenzitu pouze od nejtmaší šedé (černé) do nejsvětější šedé (bílé). Intenzita barevných obrázků, na druhé straně, je sestavená z nejtemnějších a nejsvětějších odstínů tří různých barev: červené, zelené a modré. Různé směsi těchto barevných intenzit vytváří barevný obraz. Takže dva nejzákladnější typy digitálních obrazů, B&W a různobarevné, jsou známy jako "grayscale" a RGB-obraz. Hodnoty intenzity v digitálních obrazech jsou definovány bity. Bit je binární a má jen dvě možné hodnoty 0 nebo 1, osmibitový rozsah intenzity má 256 možných hodnot od 0 do 255. To lze zapsat matematicky: $2^{(\# \text{ bitů})}$. Standardní digitální foto používá osmibitový rozsah hodnot, B&W obrazy mají jenom jeden takový rozsah a RGB-obrazy potřebují ho pro každou barvu [Gonzalez, R.; Woods, R., 2008].

2.5 Získání snímku pomocí kamery

Jako element pro rozpoznávání obrazu, bude dopravníková linka používat sestavený kamerový systém. V souvislosti s výše popsáním, v této teoretické kapitole také sdělíme něco o kamerách a principu jejich fungování:

- kamera je optický přístroj pro záznam nebo pořizování snímků, které mohou být uloženy lokálně, přenesené do jiného umístění, nebo obojí;
- můžeme ji nazvat vzdáleným snímacím zařízením, protože snímá předměty bez fyzického kontaktu;
- skládá se z optické části (objektivu), vlastního snímače a elektroniky, která dovolí sejmutý obraz předat k dalšímu zpracování;
- kamery mohou pracovat s využitím viditelného spektra, nebo s jinými částmi elektromagnetického spektra;
- obrázky mohou být jednotlivými statickými snímky nebo sekvencí obrazů, tvořících videa nebo filmy. Odsud vyplývá rozdělení na fotoaparáty a videokamery. Videokamera pracuje podobně jako fotoaparát, jediným rozdílem je, že zaznamenává sérii statických obrazů v rychlém sledu, obvykle při rychlosti 24 snímků za sekundu. Když jsou obrazy spojeny a zobrazeny v pořadí, iluze pohybu bude dosažena;
- fungování kamery je velmi podobné jako fungování lidského oka. Všechny kamery používají stejnou základní konstrukci: světlo vstupuje do uzavřené krabice přes směřující čočku a obraz je zaznamenán na světlocitlivém nosiči. Závěrka kontroluje dobu vstupu světla do kamery a má funkce, které umožňují zobrazení určité části scény, která má být zaznamenávána a je v centru pozornosti, také kontroluje intenzitu světla tak, aby snímky nebyly příliš jasné nebo příliš tlumené. Displej, většinou z tekutých krystalů (LCD), umožňuje uživateli zobrazit scény a nastavit například expozici [Curtin, D., 2007].

3 Seznámení s NI Vision Builder

Tento kapitola obsahuje můj názor a popis programu NI Vision Builder, jeho možnosti a využití.

3.1 Popis NI Vision Builder

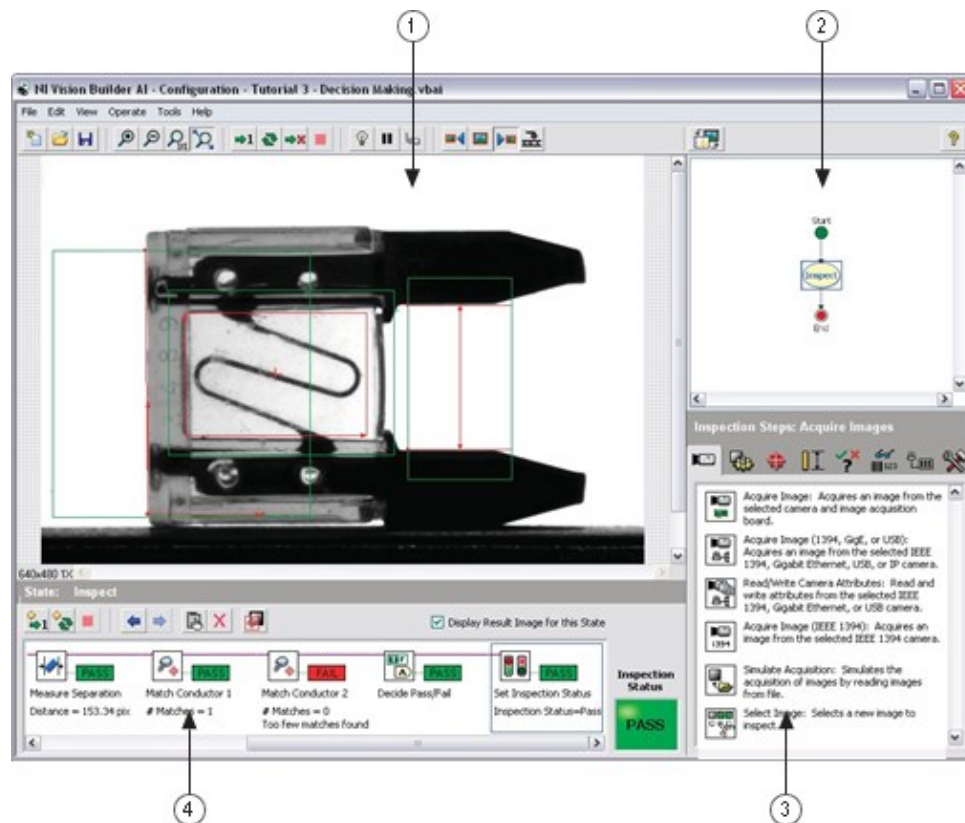
Tento software od firmy National Instruments umožňuje snadný způsob, jak nakonfigurovat systém, který například může řešit grafické aplikace na rozpoznávání vzorů pro čtení QR-kódu a na detekci přítomnosti pro přesné zarovnání a klasifikaci objektu. Interaktivní menu s dostatečně velkým rozsahem funkčnosti, řízené vývojovým prostředím nahradí složité programování tak, aby byl proces vývoje a údržby jednoduchý bez omezení výkonu. Vision Builder má dva provozní režimy: konfigurační a inspekční. Použijeme **konfigurační** režim pro nastavení konfigurace a testování inspekce, nebo **inspekční** režim pro nasazení softwaru a provedení online nebo offline vizuální kontroly.

Při seznámení a práci s tímto programem jsem zjistil, že člověk, který s tímto programem právě začal pracovat, za několik hodin práce dosáhne vhodných výkonů k provedení vlastní jednoduché inspekce. Postup při vytvoření nové inspekce je tento:

- nejprve je nutno získat obraz, se kterým budeme provádět operace, a toho dosáhneme pomocí kamery, spojené s VB, nebo použijeme z pracovní složky samostatný snímek (dříve uložený v počítači);
- dále, podle potřeby, musíme tento snímek zpracovat pomocí VB nebo zvláštního programu "VB Assistant" (např. z různobarevného vytvořit černobílý, nastavit oblast zájmu, atd.), což usnadní a zrychlí vyhodnocení snímku v dalších krocích;
- nyní je třeba přidat kritéria, podle kterých VB bude provádět inspekci snímku, a nastavit výchozí stav jednotlivých kroků a tím i celé inspekce (program obsahuje hodně jejich různých druhů, ovšem přidat musíme co nejmenší počet, který bude postačující pro zhodnocení daného typu úlohy);
- v tomto kroku už máme celou inspekci připravenou a zbývá nám jen ji spustit pomocí odpovídajícího tlačítka "Run".

3.2 Konfigurační rozhraní VB

Na následujícím obrázku 3 můžeme vidět konfigurační rozhraní VB, které se skládá ze čtyř oken, kdy každé má svůj význam, a tlačítek pro nastavení modu inspekce. Obrázek je převzat z manuálu firmy NI, podle něhož jsem se seznámil s VB.














Obr. 3 Konfigurační rozhraní Vision Builderu, převzato z [NI, 2011]

1. **Hlavní okno** – Zobrazuje obraz, který zpracujeme, stránky s vlastnostmi pro některé inspekční kroky, nebo stavový diagram celé inspekce. Hlavní okno použijeme k definování oblasti zájmu ve snímku, nastavení parametrů pro některé kroky, a vytvoření / upravení stavového diagramu.
2. **Přehledové okno** – Zobrazuje stručný náhled buď aktuálního obrázku, nebo stavový diagram pro inspekci.
3. **Paleta inspekčních kroků** – Seznam, popisující kroky, které můžete použít k vytvoření inspekce. Když kliknete na většinu kroků, paleta se změní na stránku vlastností pro určitý krok, který byl zvolen.
4. **Konfigurační okno inspekce** – Zobrazuje seznam kroků v aktuálně vybraném stavu celé inspekce.

3.3 Tlačítka pro nastavení modu inspekce

Tabulka popisuje hlavní tlačítka konfiguračního rozhraní VB, jimiž lze ovládat celou připravenou inspekci. V ní můžeme pozorovat, jak každé tlačítko vypadá, jeho název (názvy jsou převedené do angličtiny vzhledem k tomu, že VB používá tento jazyk jako základní) a funkci.

Tab. 1 Tlačítka pro nastavení modu inspekce

Tlačítko	Název	Popis
	Run Inspection Once	Spustí kontrolu pro jedno opakování stavového diagramu.
	Run Inspection in Loop	Spustí kontrolu nepřetržitě.
	Run Inspection Until Failure	Spustí kontrolu, dokud inspekce neobdrží stav "Nevyhovuje".
—	Run Inspection Multiple Times	Spustí inspekci pro určený počet opakování. Tato volba je dostupná pouze z Provozního menu.
	Stop Inspection	Zastaví inspekci.
	Highlight Execution	Upozorňuje na provedení kontroly při spuštění inspekci. V případě, že tlačítko bude žluté, provedení je spuštěno.
	Pause	Přerušuje a pokračuje provádění kontroly. Je-li tlačítko červené, provedení je pozastaveno.
	Single Step	Projde kontrolou po jednotlivých krocích. Single Step je k dispozici pouze tehdy, když je stisknuto tlačítko "Pause".
	Use Previous Image	Použije snímek předchozí kontroly v příštím vykonání inspekce. *
	Use Current Image	Použije snímek současné kontroly v příštím vykonání inspekce. *
	Use Next Image	Použije snímek příští kontroly v příštím vykonání inspekce. *
	Select Next Image	Určuje snímek, který bude zpracováván v příštím vykonání inspekce. *
* Toto tlačítko se vztahuje pouze na kontroly, které buď obsahují krok "Simulate Acquisition", nebo mají "Simulate Smart Camera", "Simulate Embedded Vision System", nebo "Simulate Compact Vision System" vybráno jako cíl.		

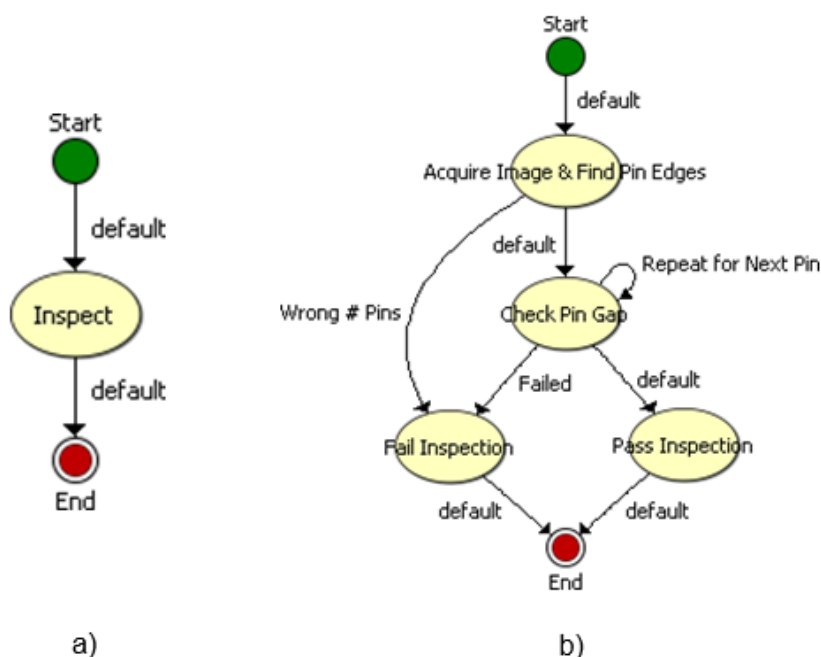
3.4 Paleta inspekčních nástrojů

Tato paleta je důležitou částí programu Vision Builder a celkem se skládá z osmi různých složek, každá má svůj vlastní název a souhrn funkcí. Každá taková funkce je individuálním krokem inspekce, má své konkrétní využití a položky pro nastavení dalších parametrů. Z názvů složek vyplývá jejich funkcionality:

1. Získání obrazu
2. Úprava obrazu
3. Určení rysů obrazu
4. Měření znaků obrazu
5. Ověření přítomnosti
6. Rozpoznávání částí
7. Komunikace
8. Použití dalších nástrojů [Frýdl, J., 2012]

3.5 Stavový diagram

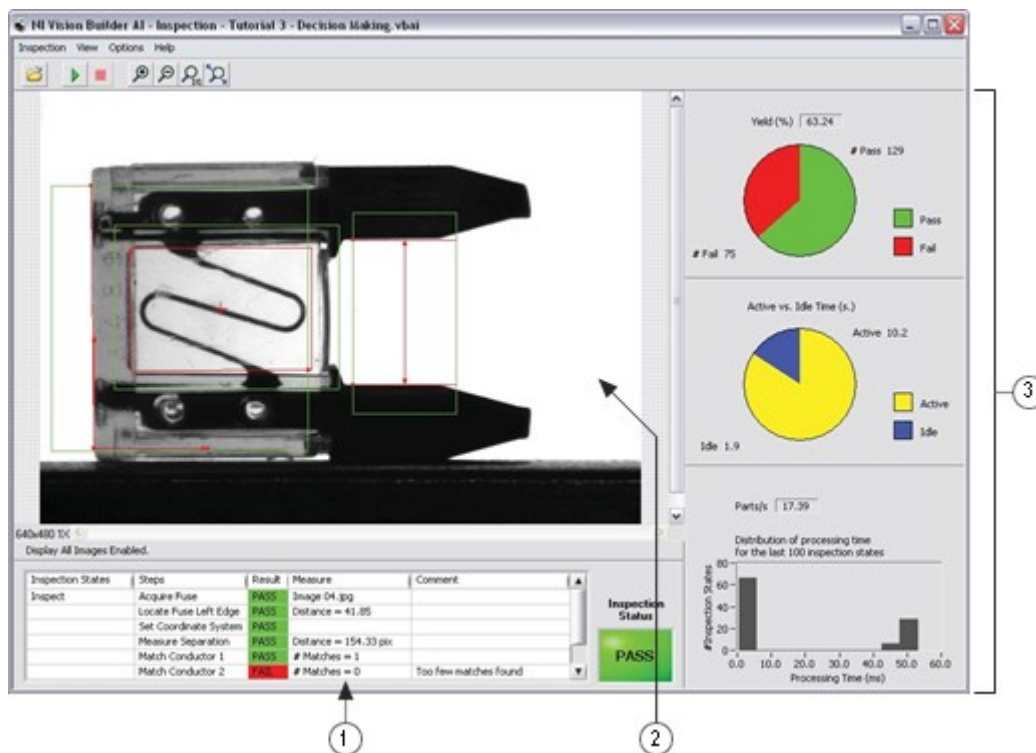
Vision Builder používá stavový diagram pro definování inspekce s jedinečnými stavy a přechody, které řídí tok provedení kontroly. Jednoduché kontroly mohou být definované pomocí výchozího diagramu, složitější – přidáním dalších stavů a přechodů do výchozího stavového diagramu (viz obr. 4).



Obr. 4 Stavový diagram: a) Výchozí, b) modifikovaný, převzato z [NI, 2011]

3.6 Inspekční rozhraní VB

Jak bylo řečeno již v úvodu kapitoly, VB má dva režimy. Inspekční režim slouží pro nasazení a spuštění kontroly a má tři hlavní oblasti: panel výsledků, statistický panel a displej (viz obr. 5).



Obr. 5 Inspekční rozhraní Vision Builderu, převzato z [NI, 2011]

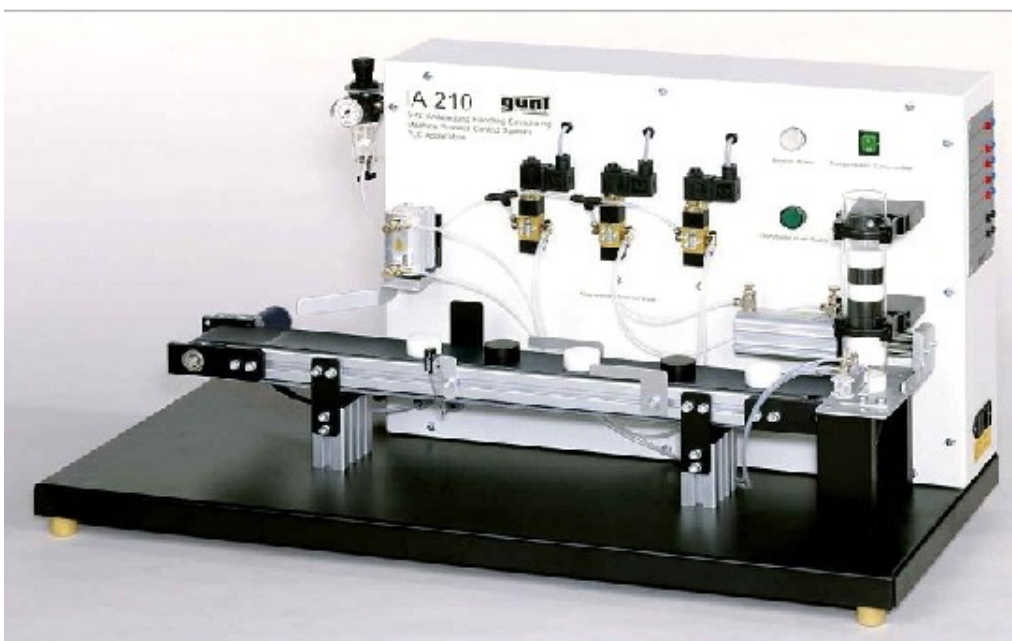
1. **Panel výsledků** – představuje seznam kroků celé inspekce podle názvu. Pro každý kontrolní krok, Vision Builder zobrazí typ kroku, výsledný stav ("Vyhovuje" nebo "Nevyhovuje"), provedené měření, a poznámku vysvětlující důvod k zamítnutí (při stavu "Nevyhovuje"). Inspekční stav ukazuje výsledek celé kontroly.
2. **Displej** – Zobrazuje součást pod kontrolou.
3. **Inspekční statistický panel** – Obsahuje tři indikátory, které zobrazují ukazatel poměru mezi vyhověním a nevyhověním, činného času oproti nečinnému a dobu zpracování kontroly.

4 Dopravníková linka GUNT IA 210

Kapitola popisuje existující laboratorní model linky, uspořádání akčních prvků a komunikaci modelu s počítačem.

4.1 Popis původní linky

IA 210 je kompaktní jednotka pro výuku a získání praxe při kontrole procesu manipulace s materiálem pomocí PLC automatu (viz obr. 6). Umožňuje simulaci dvou procesů: proces děrování, nebo kontrolu obrobku ve formě operace řazení. Všechny komponenty jsou v přehledném uspořádání. Černobílé válcové obrobky jsou dodávány ze zásobníku na dopravní pás. Na pásu je reflexní fotoelektrický přibližovací spínač, který rozlišuje mezi světlem a tmou a přesunuje bílé zboží do předem vybraného procesu (děrování či třídění). Černé obrobky vždy dojíždí na konec pásu, kde padají do kolektoru. Tři 5/2 ventily, tři dvojčinné válce a senzory lze ovládat pomocí PLC pro provedení potřebných kroků: uvolnění obrobku z nádoby; přemísťování obrobku na dopravní pás; třídění nebo děrování obrobku. Pro děrování se obrobek uvede do předem definované polohy. Pracovní válec může přepínat mezi režimy třídění a děrování pouhým sledem akcí [Gunt, 2013].



Obr. 6 Model dopravníkové linky IA 210, převzato z [Gunt, 2013]

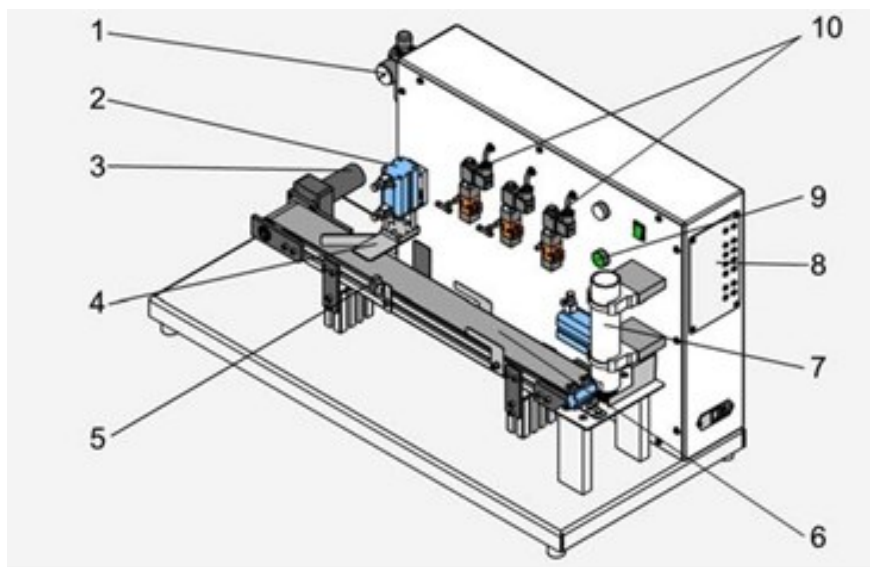
4.2 Funkce IA 210:

- 1) Demonstrace jednoduchého automatizovaného systému;
- 2) simulace procesu děrování;
- 3) simulace kontroly obrobku

Tato linka je v podstatě kombinace několika různých procesů, které probíhají ve stejném čase a jsou mezi sebou provázány. Každý jednotlivý proces je vytvořen spojením určitých prvků, které mají pevné umístění v modelu (viz obr. 7).

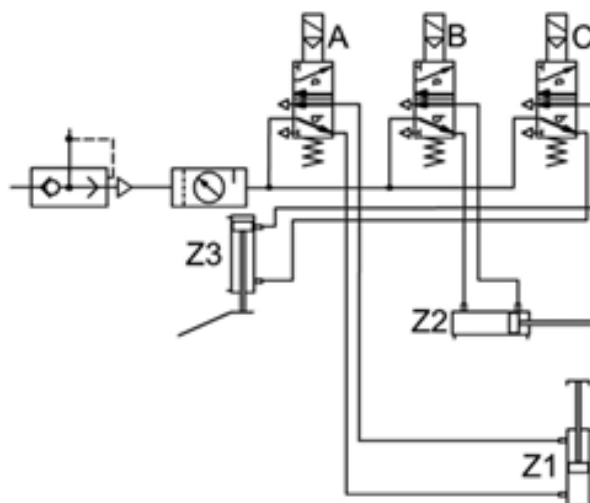
Seznam hlavních částí linky:

1. Tlakoměr
2. Dvojčinný pneumatický válec
3. Motor pohánějící dopravníkový pás
4. Součástka pro třídění výrobků (lze vyměnit na součástku pro děrování)
5. Fotoelektrický reflexní snímač
6. Dopravníkový pás
7. Zásobník
8. Panel vstupů a výstupů
9. Indikátor převýšení množství v zásobníku
10. 5/2 cestné elektromagnetické ventily [Gunt, 2013]



Obr. 7 Popis nejdůležitějších částí, převzato z [Gunt, 2013]

Pro uvedení dvojčinných válců do chodu IA 210 používá pneumatický obvod, který se skládá z tlakoměru, kombinace škrticího a jednosměrného ventilů, třech rozvaděčů a samotných válců (viz obr 8).



Obr. 8 Schéma pneumatického zapojení IA 210, převzato z [Gunt, 2013]

4.3 Dříve modifikovaná linka

V roce 2014 původní linka IA 210 byla modifikována studentem Jiří Frýdlem v jeho magisterské práci: byl přidán určitý sestavený kamerový systém a vzhledem k tomu, že linka je navržena pro ovládání PLC automatem, byl vymyšlen způsob komunikace linky a samostatného kamerového systému s počítačem pomocí měřicí karty a Ethernetu.

4.4 Kamerový systém

Sestavení systému vycházelo z těchto kritérií:

- SW od NI komunikuje pouze s kamerami určitých výrobců;
- musí být malého rozměru;
- černobílé snímky (pro rychlejší zpracování v SW Vision Builder);
- vhodné rozlišení kamery;
- umístění je kolmo nad pásem a zorné pole musí být tak široké, aby zachytilo celý objekt;
- pro vhodný snímek musí mít systém osvětlení nezpůsobující odlesky a stíny a nezávisající na denní době a slunečním svitu;
- komunikace kamery s počítačem musí probíhat paralelně s prací dopravníkové linky a zasílat snímek dostatečně rychle po hlášení objektu, který se posouvá po pásu konstantní rychlostí, fotoelektrickým reflexním snímačem.

Po celkovém posouzení všech kritérií byly vybrány tyto prvky:

1. Kamera Basler acA1300-60gm (viz obr 9).
2. Objektiv Fujinon HF25HA-1 B (viz obr 10).
3. Prstencový osvětlovač RK1220 (viz obr 11).



Obr. 9 Kamera Basler acA1300-60gm, převzato z [Frýdl, J., 2014]



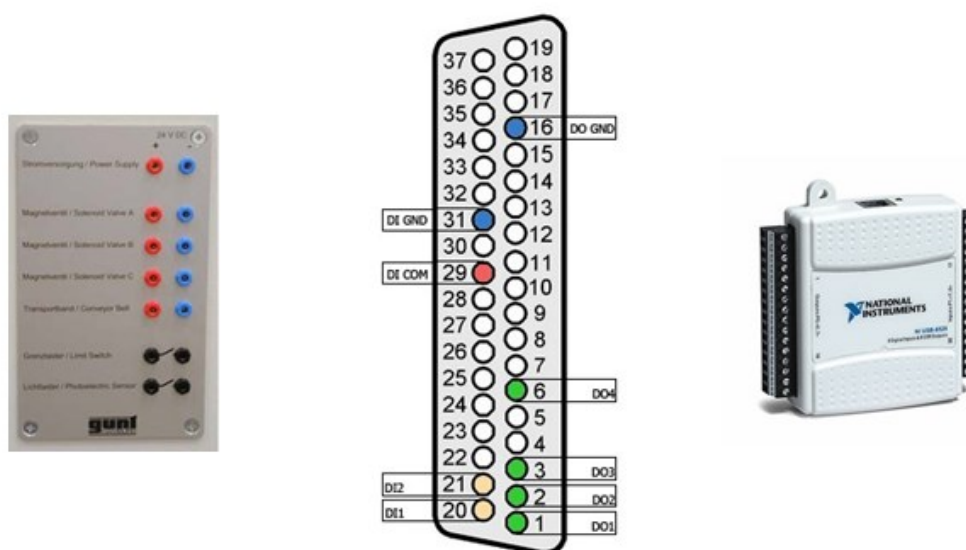
Obr. 10 Objektiv Fujinon HF25HA-1B, převzato z [Frýdl, J., 2014]



Obr. 11 Prstencový osvětlovač RK1220, převzato z [Frýdl, J., 2014]

4.5 Komunikace linky a kamerového systému s počítačem

Fyzikální část komunikace spočívá v tom, že linka IA 210 není určena pro přímou komunikaci s počítačem, proto byl navržen jiný způsob s využitím 37 konektoru a měřicí karty od firmy NI, což umožnilo pozorovat a měnit signály vstupu a výstupu v prostředí NI Vision Builder pomocí doplňkového programu NI MAX; navíc k měřicí kartě bylo přivedeno ovládání prstencového osvětlovače RK1220, který se také dá řídit ve VB. Samostatná kamera Basler je propojená s počítačem přes gigabitový injektor Tenda PoE1500S a je viditelná v záložce "Získání obrazu" programu.



Obr. 12 Panel vstupu a výstupu IA 210; vyvedení konektoru DE-37 F; měřicí karta NI USB 6525, převzato z [Frýdl, J., 2014]

Tab. 2 Vyvedení vstupů a výstupů z panelu do konektoru DE-37F

Vstup/výstup panelu	Kontakt konektoru
Senzor přítomnosti pod zásobníkem	20
Fotoelektrický reflexní snímač	21
Napájení (24 V)	29
Zem	31
Ventil A	1
Ventil B	2
Ventil C	3
Pás	6
Zem	16

Vyvedení vstupů a výstupů z panelu linky do 37 konektoru a pak do měřicí karty NI USB 6525 spolu s připojením kamerového systému k této měřicí kartě pro ovládání procesu třídění výrobků pomocí počítače už dříve bylo popsáno panem Frýdlem při napsání diplomové práce v roce 2014. Při seznámení, práci s modelem a nastavení komunikaci s počítačem jsem využil stejné vyvedení konektoru DE-37 F (viz obr. 12).

SW-ová část komunikace, jak bylo dříve řečeno, leží ve využití doplňkového programu NI MAX. Jelikož jedním z bodů mého zadání je seznámit se s existujícím modelem rozpoznávání obrazu na dopravníkové lince, myslím, že je nutné poskytnout informaci o tom, jak vše funguje ve vztahu s PC:

- po připojení měřicí karty k počítači přes USB-kabel na pracovní ploše se objeví oznámení o novém zařízení NI USB 6525;
- SW od NI rychle naladí spoj mezi kartou a PC;
- dále musíme v prostředí NI MAX založit nové virtuální NI-DAQmx kanály: 1 kanál pro samostatný vstup nebo výstup (viz obr 13);



Obr. 13 Ukázka vytvořeného kanálu, převzato z [Frýdl, J., 2014]

- celkem budeme mít 7 kanálů (2 vstupy: fotoelektrický snímač a senzor přítomnosti pod zásobníkem; 5 výstupů: 3 samostatné ventily, pás a osvětlovač (viz obr 14).);



Obr. 14 Vytvořené kanály, převzato z [Frýdl, J., 2014]

- když budeme mít kanály připravené, můžeme přejít ve Vision Builderu do záložky "Komunikace" a pomocí určitého tlačítka s nimi pracovat.

Po splnění všech těchto bodů je SW Vision Builder spolu s existujícím laboratorním modelem rozpoznávání obrazu na dopravníkové lince připraven k vypracování úkolu pro automatickou inspekci výrobků; dalším bodem zadání je nová modifikace dopravníkové linky pro práci s větším množstvím objektů, což je popsáno v následující kapitole.

5 Rozšíření modelu

V této kapitole najdeme popsané rozšíření modelu linky a náročnosti, spojené s tímto procesem.

5.1 Funkčnost původní linky

Původní linka IA 210 od firmy GUNT byla sestavena pouze pro jednoduchou ukázkou procesu třídění a umožňovala práci jenom s černobílými válcovými obrobky (viz obr. 15). Proces rozpoznávání vhodného obrobku byl realizován fotoelektrickým snímačem, který posílal bílé válce na konec pásu do nádoby "Vyhovuje"; černé válce byly odstraněny z pásu pomocí zábrany.



Obr. 15 Příklady válců původní linky

5.2 Funkčnost linky s kamerovým systémem

Později, v roce 2014, byl model modifikován přidáním kamerového systému, což umožnilo třídít válce podle počtu teček na horní stěně, a také pracovat s určitým druhem čtvercových matic, které byly předem podlepeny gumovou podložkou o průměru 40 mm (viz obr. 16).



Obr. 16 Příklady podlepených matic, převzato z [Frýdl, J., 2014]

5.3 V návaznosti na rozšíření problematiky

Mým úkolem je rozšířit model pro práci s větším množstvím typů objektů. Jako nové objekty jsem zvolil několik různých druhů strojních součástí, jako jsou matice, podložky, háčky atd. (viz obr. 17), předem zakoupené v maloobchodní síti. Při výběru jsem zaměřil pozornost na omezení linky pracovat pouze s malými objekty a také na to, že Vision Builder umí rozeznávat objekty podle přesně stanovených příznaků, čemuž ne každý předmět vyhovuje.



Obr. 17 Nové strojní součástky

V následujícím kroku jsem uvedl všechny problémy vztahující se k lince, zakoupeným součástkám a umožnění jednoduchého procesu rozšíření:

1. zásobník linky je kruhové potrubí o průměru 44 mm;
2. senzor přítomnosti objektu pod zásobníkem je dotykový a potřebuje hmotu více než 50 gramů, aby byl sepnutý;
3. zásobník neobsahuje žádný přidržovač, takže vkládané objekty vždy padají dolů na senzor s velkou rychlostí, což způsobuje nárazy a odskoky objektů od povrchu umístění a k tomu postupnou deformaci senzoru přítomnosti;
4. fotoelektrický reflexní snímač nad pásem je založen na principu rozpoznávání mezi světem a tmou a reaguje na světlé předměty;
5. kamera se nachází kolmo nad pásem, takže nesmí být žádná překážka mezi objektivem a vzorkem;
6. největší ze zakoupených součástí má délku 38 mm;
7. pro lepší práci VB osvětlení nesmí způsobit odstíny a odlesky;
8. proces rozšíření musí dosáhnout vhodného výsledku po nejmenším počtu kroků.

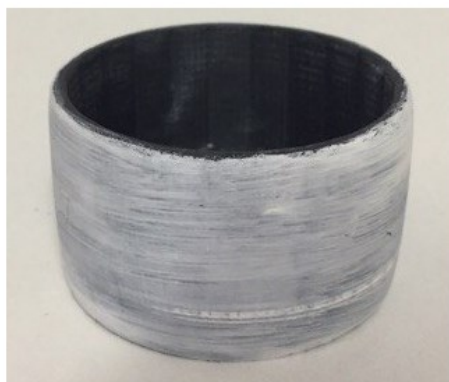
5.4 Navržené řešení

Mým návrhem je nádobka válcovitého tvaru (viz obr. 18 a), jejíž parametry jsou:

- průměr 44 mm;
- celková výška 25 mm;
- tloušťka boční stěny 2 mm;
- tloušťka dna 5 mm.



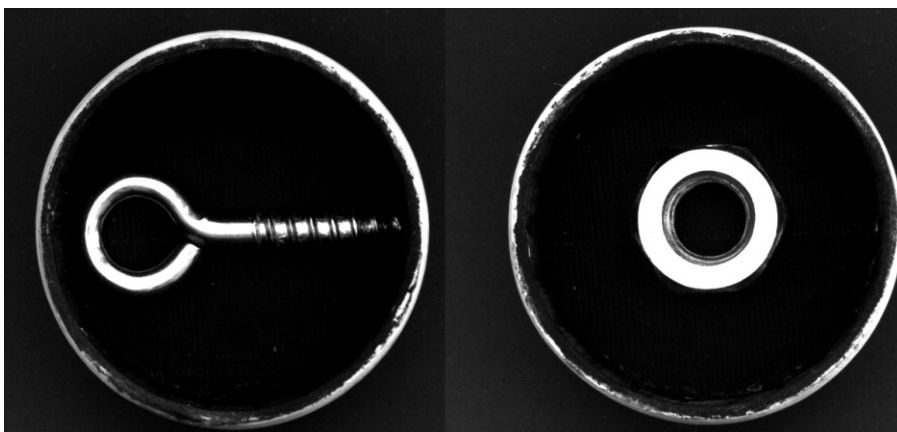
a)



b)

Obr. 18 Navržená nádobka: a) ihned po vytištění; b) po manuální úpravě

Na začátku jsem namodeloval nádobku v programu Creo Parametric 3.0, umožňujícím kreslit libovolné 3D objekty, a potom vytisknul model na 3D-tiskárně. Když jsem tuto nádobku navrhoval, mým záměrem bylo jí vytvořit těsně na potrubí zásobníku. V tomto případě by však mezi vnitřní stěnou potrubí a vnější stěnou nádobky vznikaly třecí síly a zpomalovaly ho při posouvání směrem dolů. Dalším problémem se jevila barva plastu (černá), ze kterého 3D-tiskárna vyrobila nádobku. Hned po vytištění nádobka neodpovídala požadovaným parametrům kvůli nedokonalosti 3D-tiskárny, takže jsem ji musel ručně upravit. K této úpravě patřilo ruční broušení smirkovým papírem a pak obarvení bočních stěn (viz obr. 18 b). Dále jsem vkládal do nádobky různé druhy součástek a vyzkoušel funkčnost procesu: vzorek do nádobky, nádobku do zásobníku, což se podařilo bez problému. V následujícím kroku jsem vyzkoušel umístění nádobky s vloženou součástkou na pásu pod kamerou a získání snímku (viz obr. 19). Na snímku (pohled shora) můžeme vidět boční stěnu a vlastní součástku. V tomto okamžiku jsou všechny problémy, kromě hmotnostního (položka 2 v seznamu), odstraněny.



Obr. 19 Umístění součástek v nádobce

5.5 Hmotnostní problém

Dalším úkolem bylo zvážit nádobku a součástky a vyřešit problém se sepnutím senzoru přítomnosti pod zásobníkem. Z mého pohledu se tento problém dá vyřešit dvěma různými způsoby:

1. Vyměnit dotykový senzor například za optický, který by vyhovoval danému procesu;
2. Zvětšit hmotnost nádobky.

Při analýze prvního způsobu jsem se setkal s problémem, že náhradní optický senzor musí mít malé rozměry (protože bude umístěn na držák dotykového senzoru), a přitom dokázat poslat signál do otvoru pro senzor na vzdálenost přibližně 1 cm.

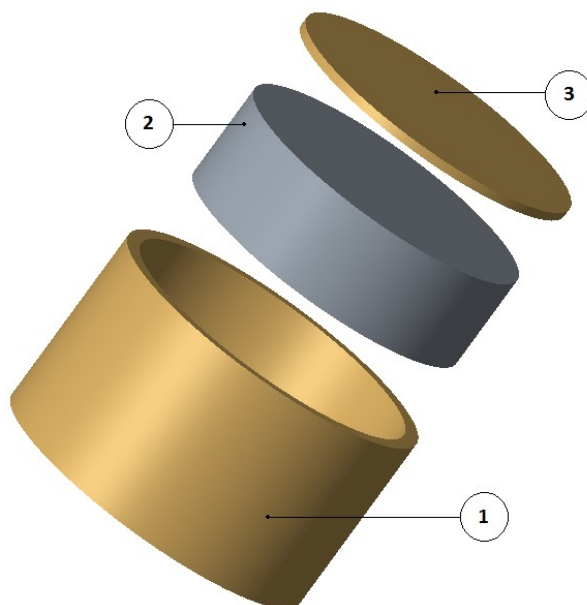
Při hledání vhodného prvku jsem zjistil, že napájení u takových součástek je většinou méně než 12 V, ve stejném čase napájení linky je 24 V. Z toho by vyplynula potřeba navrhnout speciální obvod pro přizpůsobení senzoru, který by si vyžádal další mikroelektronické prvky. Postupů a náhradních obvodů při dané výměně senzoru je dostatečné množství. Ale je zřejmé, že pro každý takovýto postup je nutné vyčlenit dodatečnou část finančních prostředků a času.

Nyní už je evidentní, že první cesta způsobí komplikace procesu rozšíření, což nevyhovuje bodu 8 ze seznamu problémů.

Po posouzení první možnosti jsem začal analyzovat druhou. V tomto kroku bylo potřeba zvážit prvky. Samostatná nádobka váží 14,5 gramů. Hrnek se součástkou (od nejlehčí po nejtěžší) má hmotnost od 16 do 25 gramů. Z toho se dá usoudit, že jedna nádobka, dokonce i s nejtěžší vloženou součástkou má hmotnost menší než 50 gramů.

Je zřejmé, že při práci s linkou se ve skutečnosti nikdy nebude používat pouze jedna nádobka. Do zásobníku ji vždy vložíme několikrát, což by tento problém dostatečně vyřešilo. Ale vždy by na konci inspekce v zásobníku zůstávalo několik nádobek, jejichž hmotnost by nebyla dostatečná pro sepnutí. Proto jsem přistoupil k úpravě nádobek na nový typ. Nová nádobka se bude skládat ze třech částí (viz obr. 20) a mít hmotnost přibližně 60 gramů:

1. Původní nádobka s tenčím dnem;
2. metalická hmota;
3. falešné dno.



Obr. 20 Model upravené nádobky

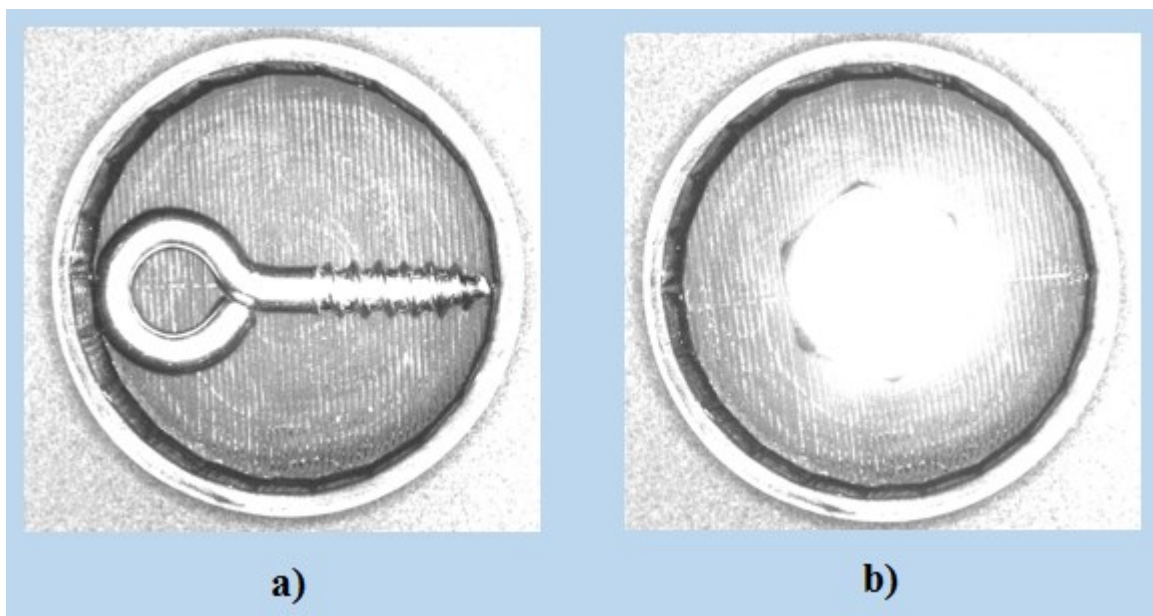
Parametry jednotlivých součástí jsou:

1)	2)	3)
průměr 44 mm	průměr 40 mm	průměr 40 mm
výška 25 mm	tloušťka 9 mm	tloušťka 1,2 mm
tloušťka boční stěny 2 mm	hmotnost 45 g	hmotnost 0,5 g
tloušťka dna 1,2 mm		

Tímto krokem byl ukončen návrh rozšíření modelu linky pro práci s větším množstvím typů objektů. Všechny problémy jsou odstraněny a mohu přistoupit k softwarové části zadání.

5.6 Příprava linky pro realizaci inspekční úlohy

Při testování umístění nádoby pod kamerou a získání obrázků jsem zjistil, že vybrané součástky mají různou intenzitu odrazení světla. Na obrázku 21 můžeme pozorovat fotky dvou různých dílů při stejné intenzitě osvětlení. Oba obrazy jsou vzhledem k jejich zářivosti nekvalitní pro zpracování ve VB, v případě přítomnosti matice, (viz obr. 21 b) i její úplné neviditelnosti. Úkolem automatické inspekce je vyhodnotit součástku nezávisle na denní době a jejích parametrech. Otestoval jsem pomocí nastavitelného kamerového systému různé kombinace součástek a nádobek. Po zhodnocení výsledků jsem ponechal určitou clonu a zaostření kamery. Tyto nastavené parametry dovolily při návrhu počítačové úlohy získat nejlepší snímky, což hodně pomohlo Vision Builderu při zpracování dat, a také odpadla potřeba využívat velké množství filtrů. (Vhodné snímky jsou na obrázku 19.)



Obr. 21 Příklady nevyhovující intenzity osvětlení

Po splnění výše popsaných bodů SW Vision Builder spolu s laboratorním modelem rozpoznávání obrazu na dopravníkové lince je připraven k provedení úlohy automatické inspekce výrobků.

6 Automatická úloha při třídění součástek

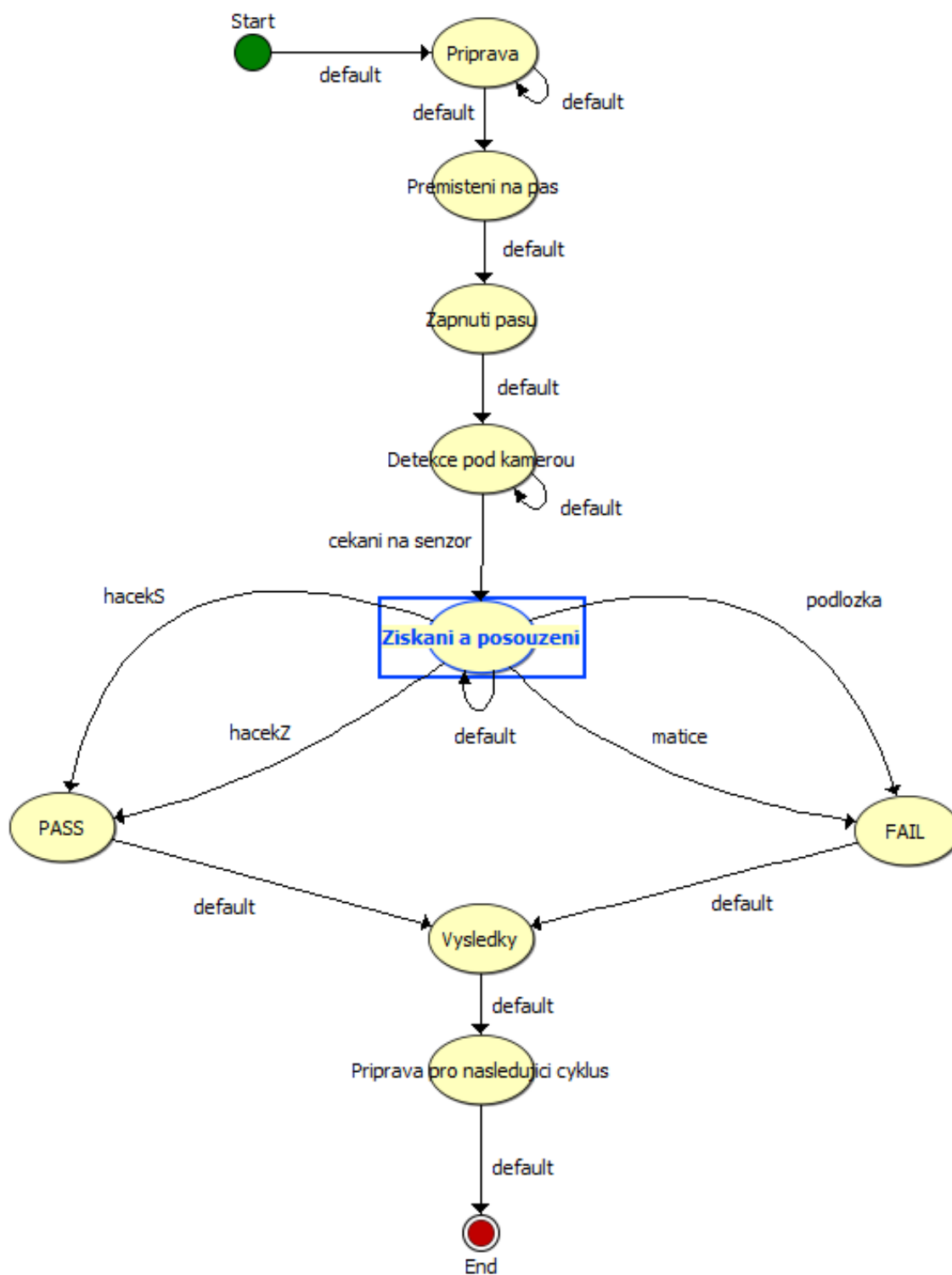
Program NI Vision Builder má velké množství nástrojů. Při různých kombinacích těchto nástrojů můžeme vytvořit obrovský počet úloh, které budou založeny na odlišných principech rozpoznání obrazu, ale na konci budou mít stejné výsledky inspekce. V této kapitole popíšu jednoduchou vytvořenou úlohu pro třídění součástek na lince a ty nástroje, které z mého pohledu jsou nejdůležitější a mají největší význam pro Vision Builder. Každý z popsaných nástrojů slouží k různým účelům. Avšak dohromady nabízejí možnost tvořit složitější úlohy nejenom kvůli možnosti rozlišovat jednu libovolnou součástku od druhé, ale i například kvůli odhadu různých mechanických závad dílů.

6.1 Cyklus úlohy

Při návrhu mé úlohy jsem se rozhodl ji rozdělit na postupné dílčí kroky, skládající se celkem z 2 hlavních částí cyklu (viz obr. 22):

1. část ovládání linky. Do ní patří všechny kroky, kromě vyznačeného modrým obdélníkem. Jedná se o kombinaci sledování vstupů a zasílání akčních zásahů do výstupů pomocí DAQ kanálů;
2. část získání obrázků a posouzení součástky (je vymezena modrým obdélníkem). Část je představena krokem, který může v sobě obsahovat libovolné předdefinované nástroje, potřebné pro inspekci obrazu. Je vyměnitelná.

Vzhledem k tomu, že automatická inspekce je cyklus, který se bude opakovat znovu a znovu, a skládat se z výše uvedených částí, toto rozdělení se jeví jako užitečné. Po vytváření první části, ji už nebude potřeba měnit, protože bude vždy mít stejné kroky a odpovídat za přemístění nádoby s libovolnou vloženou součástkou ze zásobníku na pás, dále pod kameru a do jednoho z přijímacích košů. Druhou část můžeme kdykoliv změnit pro práci s novými typy součástek. Nové typy dílů si mohou vyžádat nové způsoby rozpoznávání, což se nikdy nestane problémem díky rozdělení celého cyklu. Jediné, co budeme potřebovat, je změna seznamu nástrojů a předdefinovaných souboru 2 částí, podle kterých je zhodnocení umožněno.



Obr. 22 Cyklus navřené úlohy

6.2 Část ovládání linky

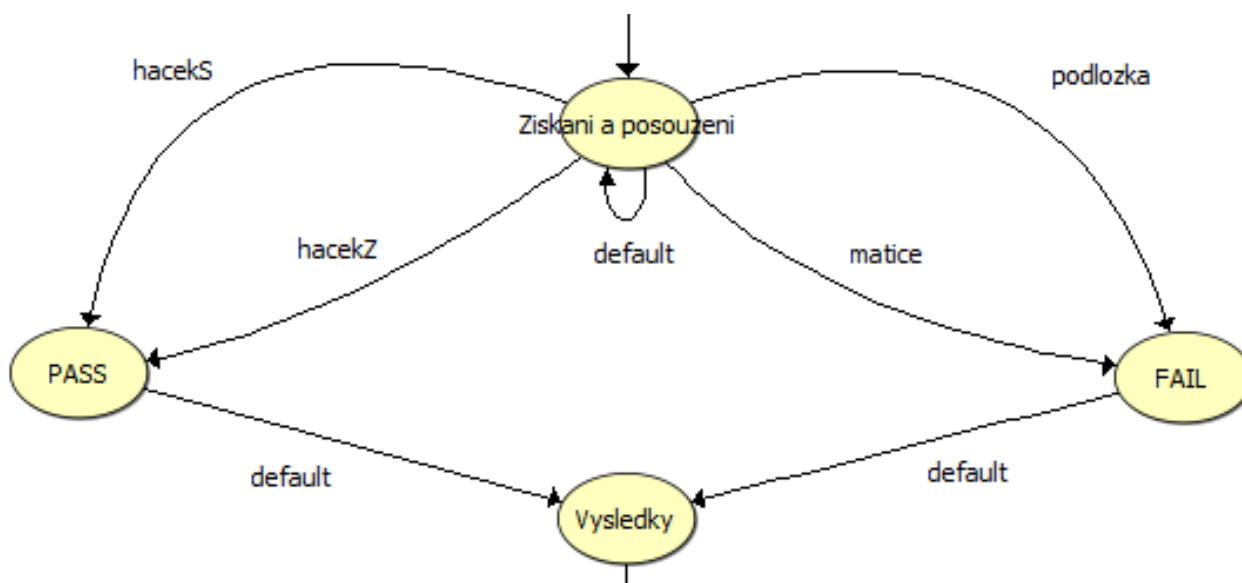
Tato část odpovídá za sledování hodnot senzorů, pohanění pásu a výjezd pneumatických válců. Každý krok této části odpovídá za svoje DAQ kanály a musí být ve stejném pořadí, v jakém ho můžeme vidět na obrázku 22 (jinak inspekce nebude zprovozněna). Dále popíšu funkčnost každého jednotlivého kroku:

1. Příprava – tato smyčka čeká, pokud připravené nádobky budou vloženy do zásobníku. Vkládáním umožníme sepnutí senzoru přítomností a při sčítání logické jedničky se vysune píst A, který zafixuje v zásobníku všechny nádobky, kromě spodní.
2. Přemístění na pás – při sepnutém senzoru přítomností se přesune spodní nádobka na pás a vrátí ventil B do zpětné polohy.
3. Zapnutí pásu – spustí motor, pohánějící pás, a nechá ho na neomezenou dobu běžet.
4. Detekce pod kamerou – tento krok sleduje moment, kdy bude nádobka projíždět pod kamerou. Když se nádobka dostane do takovéto polohy, na senzoru se objeví logická jednička a tato informace bude zaslaná programem do následujícího kroku a spustí jej.
5. Získání a posouzení – je vysvětleno v další kapitole 6.3.
6. Vyhovuje nebo PASS – nechá pás běžet po dobu nájezdu a spadnutí nádobky se součástí do odpovídajícího koše.
7. Nevyhovuje nebo FAIL – zajistí vysunutí pístu C a odebráním odstraní nádobku s nevhodnou součástí z pásu do bočního koše, po odstranění nádobky vrátí píst C do zpětné polohy.
8. Výsledky – krok pro zobrazení dat inspekce. Ukáže nám, která součástka projela pod kamerou. Do tohoto kroku můžeme vložit jakákoliv data, získaná v průběhu celé inspekce. Je vazebně spojen s krokem 5.
9. Příprava pro následující cyklus – je to krok ukončení celého cyklu. Pás se zastaví. Také uvolní nádobky v zásobníku vrácením pístu A do zpětné polohy. Další nádobka spadne dolů na plochu umístění a sepne senzor přítomností.

Po splnění všech těchto kroků je linka připravena na následující cyklus stejné náplně. Celá tato smyčka byla otestovaná na modelu dopravníkové linky, což se podařilo bez problémů. Každý jednotlivý krok bez omezení jde upravit při otevření souboru, obsahujícího tento cyklus.

6.3 Část získání obrázku a jeho posouzení

Při návrhu této části inspekce jsem nejdřív vyzkoušel některé množství inspekčních nástrojů, dostatečné pro zamýšlené rozhodnutí. Ze zakoupeného seznamu jsem zvolil 4 různé druhy součástek, kterými se staly: matice M10, podložka, závrtný háček s kruhovým otvorem a háček “S” formy (viz obr. 17). Tyto díly jsem využil ve větší části pokusu rozpoznání. Také jsem měl k dispozici matici M8 a zmenšené vzorky podložky a háčku “S” formy pro testování zvláštních druhů inspekce.

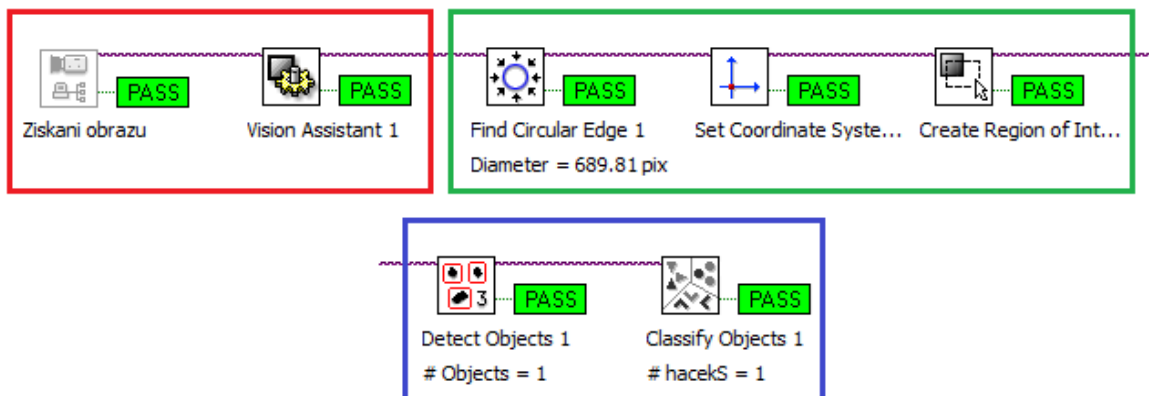


Obr. 23 Inspekční část

Na obrázku 23 vidíme krok “Získání a posouzení”, odpovídající za všechny pokyny, potřebné k rozhodnutí o vyhotovení vzorku. K druhé části plného cyklu kromě tohoto kroku také patří spojení “hacekS”, “hacekZ”, “matice”, “podložka” a také krok “Výsledky”. Z obrázku je vidět, že podle stavového diagramu háčky jdou do smyčky “PASS”, matice a podložky - “FAIL”. Každý spoj odpovídá pouze za svou součástku a bude sepnut pouze v případě, že odpovídající díl bude rozpoznán. Relace jednoho spoje se svým samostatným vzorkem je velmi výhodná pro proces stanovení určitého druhu z většího množství. Takovým vztahem můžeme pomocí přetáhnutí spoje k opačnému kroku jednoduše měnit řešení VB o odpovídajícím dílu. Nyní je potřeba vysvětlit z čeho se rozhodující krok skládá, a jak tyto součástky mezi sebou odlišuje.

6.4 Fáze druhé části cyklu

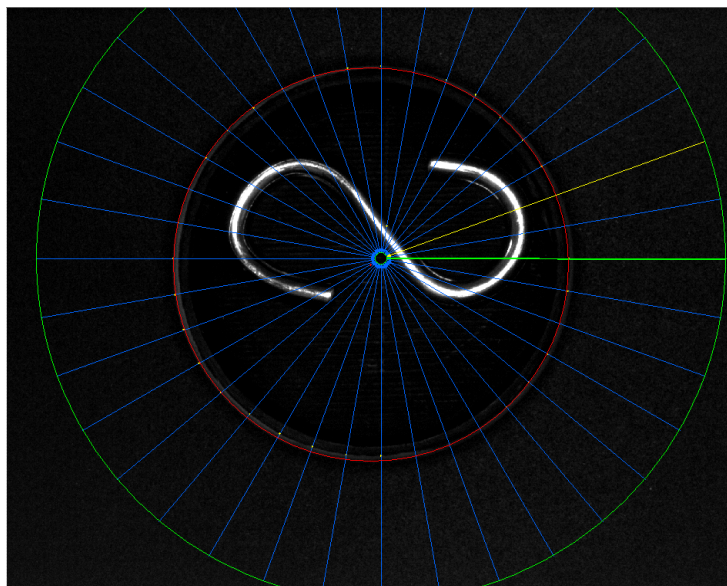
Na obrázku 24 můžeme vidět nástroje, využívané v navržené úloze. Pro lepší pochopení je celý seznam rozdělen na 3 oddíly.



Obr. 24 Fáze inspekční části po spuštění aplikace

- 1) **Získání snímku pomocí kamery a jeho úprava** ve Vision Assistantu pro další rychlejší posouzení programem. Je vymezen červeným obdélníkem. Na obrázku se tato fáze skládá pouze ze dvou akcí. Ponechal jsem pouze tyto dva kroky z toho důvodu, že jsem chtěl obdélník zprůhlednit, aby nebyl příliš rozměrný. V reálu jich do něho vložíme více:
 - Pro pořízení lepšího snímku můžeme například nejdříve zastavit pás, ale není to nutné: při testování dokázala kamera udělat vhodné snímky dokonce i s poháněným pásem.
 - Vždy před vytvořením fotky rozsvítíme prstencový osvětlovač, poté už jej vypneme, aby nesvítil bezdůvodně (stejně uspořádání kroků je využito v průmyslu).
 - Pomocí kamery dostaneme 32bitový snímek, na kterém budeme mít pohled na nádobku se součástkou shora. Problém Vision Builderu je v tom, že zpracování 32bitové fotky omezí počet nástrojů, které můžeme využít.
 - Z tohoto důvodu je následujícím krokem práce s dodatečnou paletou funkcí Vision Assistant. Zahrnuje v sobě další 4 záložky, které nabízí velké množství různých filtrů. Pomocí Vision Assistantu můžeme na snímku vyčlenit pouze nejdůležitější údaje a ostatní odstranit. V mém případě jsem využil nástroj “Získat intenzitní plochu HSI (Tón-Nasycení-Intenzita)”, který z obrazu tyto složky získá a změní fotografii na 8bitovou, což dovolí pracovat ve VB bez omezení.

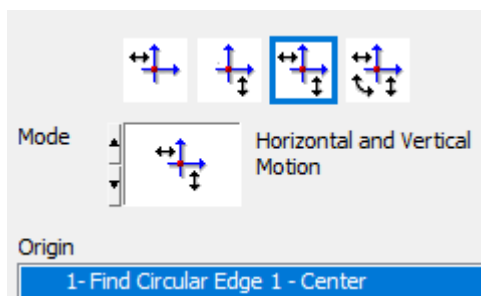
- 2) **Nastavení “oblasti zájmu”**. Slouží pro omezení pracovní zóny programu z celé plochy snímku jenom na určitou nastavenou oblast, a jak z toho vyplývá, slouží i pro zvětšení rychlosti zpracování obrazu. Je ohraničen zeleným obdélníkem. Jelikož kamera vždy bude poskytovat pohled shora, na každém obrázku se objeví boční stěna nádoby, ve výhledu kružnice, což je velkým plusem pro mou úlohu. Tuto kružnici jsem využil jako základní bod celého nastavení postupu v tomto oddílu.
- VB obsahuje speciální nástroj “Najít kruhovou hranu”, který tuto kružnici najde a na každém obrázku ji označí. Avšak tento nástroj má svoje zvláštní body při zpracování, na které musím upozornit. Způsob stanovení kruhové hrany je tento:
 1. Nejdřív musíme nastavit na snímku 2 referenční kružnice: malou a velkou. Menší kružnice vždy se musí nacházet uvnitř hrany, kterou hledáme. Větší musí naopak ležet vně;
 2. Mezi těmito dvěma kružnicemi program nastaví dostatečné množství paprsků. Každý nový z nich bude mít stupňový odstup od předchozího (viz obr. 25). Tento odstup a některé další parametry jsou nastavitelné, jinak je program může uskutečnit automaticky;



Obr. 25 Nástroj “Najít kruhovou hranu”

3. Dále program ukáže všechny nalezené hrany, z nichž už budeme moci zvolit jenom ty, které potřebujeme. Při správně přednastavených parametrech bude nástroj nacházet pouze boční stěnu nádoby, jinak by mohl zjistit například hrany matice M10 nebo kruhový otvor závrtného háčku;

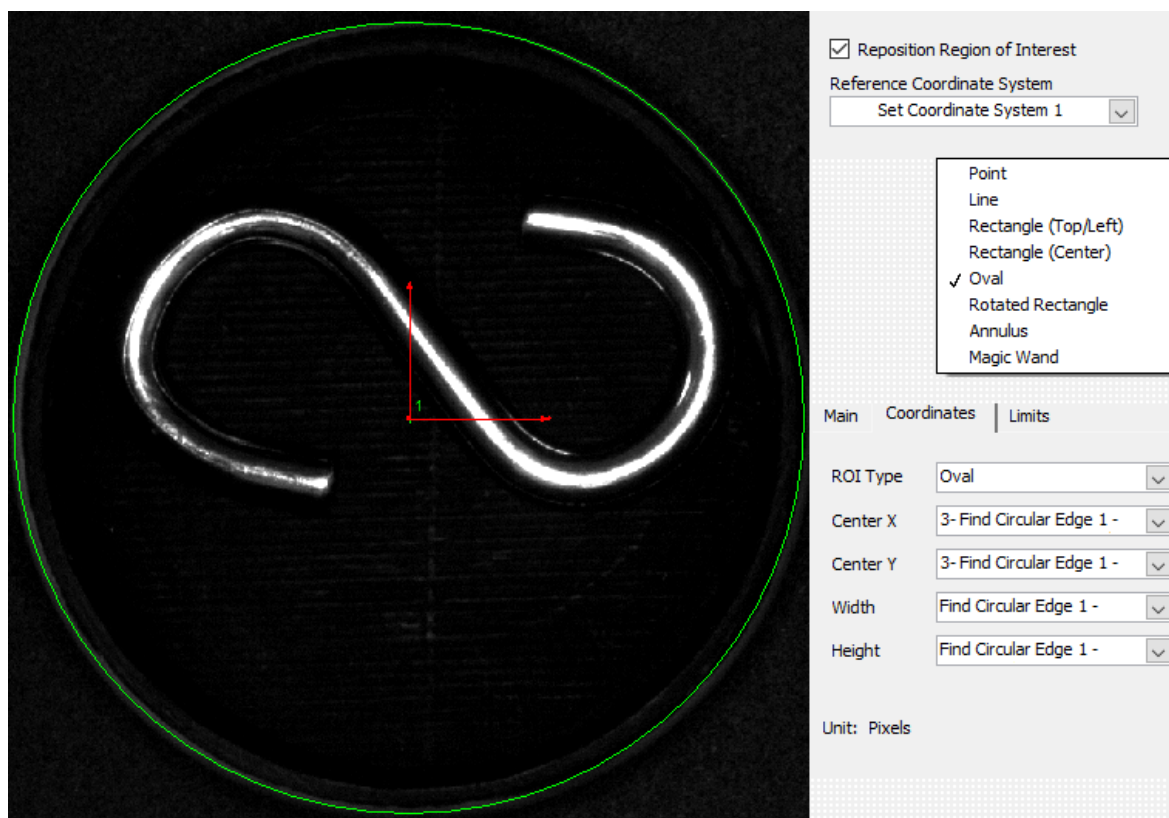
4. Vzhledem k pevnému umístění kamery nad pásem, snímané objekty v jejím zorném poli vždy budou mít stejné rozměry. Takže pro zjištění boční stěny na každém snímku v celé posloupnosti potřebujeme nastavit parametry pouze jednou;
 5. Také by mohl existovat problém, že se v sekvenci obrázků objeví každá nová nádobka v novém místě, a menší kružnice může zůstat mimo hledané hrany. V realitě bylo vyzkoušeno mnoho pokusů přemístění nádobky na pás a jejich nájezd pod kameru. Všechny vždy dojíždí v přibližně stejném uspořádání a na různých snímcích se obecně nacházejí v horní části pásu. Jejich přemístění doleva nebo doprava, vzhledem k ostatním snímkům, není moc velké. Takže tento problém je odstraněn při nastavení menší kružnice do správné polohy, která bude vyhovovat každé variantě.
- Po získání boční hrany je užitečně nastavit referenční souřadnicový systém. Tento bod nám velice pomůže pro uskutečnění různých zón a bodů snímku, což ulehčí další práci. Tady jsem využil nástroj “Nastavení souřadnicového systému”. Tento nástroj je celkem jednoduchý, ale má také své nastavitelné body:
 1. Nejprve si musíme zvolit styl systému. Tady můžeme vybrat jeden ze čtyř pro pohyby v různých směrech (viz obr. 26). V nabídce jsou: pouze osa X, pouze osa Y, dvě dohromady nebo obě spolu s rotací. Ponechal jsem dvouosový styl;



Obr. 26 Parametry nástroje “Nastavení souřadnicového systému”

2. Dále musíme určit umístění středu systému, který jsem ponechal shodně se středem kružnice, nalezené pomocí předchozího nástroje;
3. Jednotkou takového systému budou pixely (pracujeme s digitálním snímkem). To je také základní jednotka ve VB. Ale v případě potřeby můžeme systém převést na reálné veličiny, jako například milimetry. V tom nám pomůže nástroj, který bude popsán v jedné z dalších kapitol.

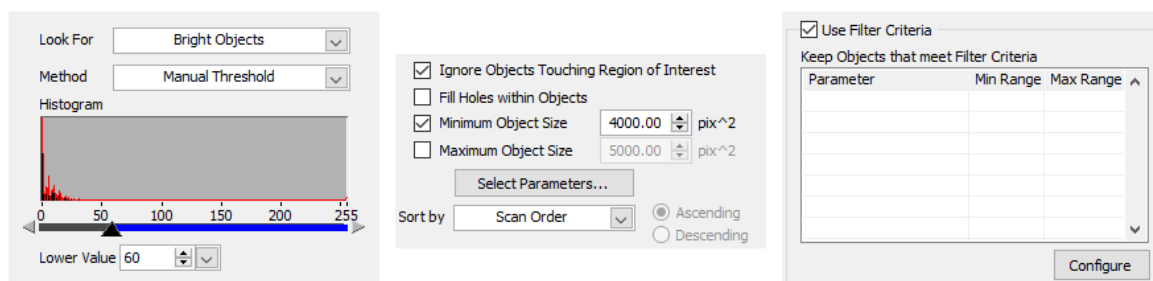
- Dostáváme se k hlavnímu bodu tohoto oddílu - “oblasti zájmu”. Cílem tohoto kroku je omezení pracovního rozsahu programu pouze do vnitřní části nádoby. Při využití nástroje “Nastavení oblasti zájmu” musíme zvolit několik základních charakteristik (viz obr. 27):
 1. První spojí nástroj se založeným souřadnicovým systémem;
 2. Další upraví formu hledané zóny na nejlepší pro zadanou úlohu. K dispozici máme takovéto druhy: tečka, linie, obdélník s referenční horní a levou hranami, obdélník s referenčním středem, ovál (kruh), rotovaný obdélník, sektor mezi dvěma kružnicemi a poslední možnost nabízí vymezit složité tvary s křivými hranicemi;
 3. Po zvolení oválu, dále musíme ujasnit jeho rozmístění pomocí čtyř bodů: polohy středu na ose X a Y, šířky a výšky. V své úloze jsem ponechal střed v průsečíku os a šířku a výšku předělil podle diametru kružnice boční stěny nádoby.



Obr. 27 Nástroj “Nastavení oblasti zájmu”

První dvě fáze dohromady představují pouze pokyny pro přeměnu kamerou pořízených snímků na víceméně jednoduchý tvar, který bude dále rychle zpracován za dobu méně, než za jednu vteřinu díky nastaveným omezením.

- 3) **Fáze pro přidání různých nástrojů pro posouzení.** Na obrázku 24 je vydělen modrým obdélníkem a představen dvěma kroky, které byly použity v sestavené úloze kapitoly 6.1. Tato fáze se může skládat z neomezeného počtu různých kritérií a instrumentů pro zhodnocení, rozpoznání a získání libovolných dat z obrazu. V navržené úloze byly využity dva a to “Detekce objektu” a “Classifier”. Druhý nástroj jsem popsal v následující samostatné kapitole 6.5 vzhledem k náročnosti jeho přípravy.
- “Detekce objektu” je krok pro zjištění počtu předmětů v nádobce na základě několika příznaků. V průmyslu by mohl tento krok sloužit například pro kontrolu přítomnosti dalších částic na pásu, které samozřejmě nejsou požadovány při výrobě nebo obrábění dílu. Nastavení tohoto kroku zahrnuje 5 záložek:
 1. Pomocí první definujeme, v jaké oblasti je potřeba objekty sledovat. Můžeme zvolit celý snímek, využít dříve získané oblasti z předchozích kroků jako například “oblast zájmu” nebo jednoduše nastavit novou konstantní zónu;
 2. Dále vybereme, jaké objekty sledujeme: světlé, tmavé nebo šedé. Také zvolíme metodu rozpoznávání (existuje 8 různých principů), a určíme nutné pro zvolenou metodu meze (u základní nastavíme jenom dolní hranici intenzity pixelu);



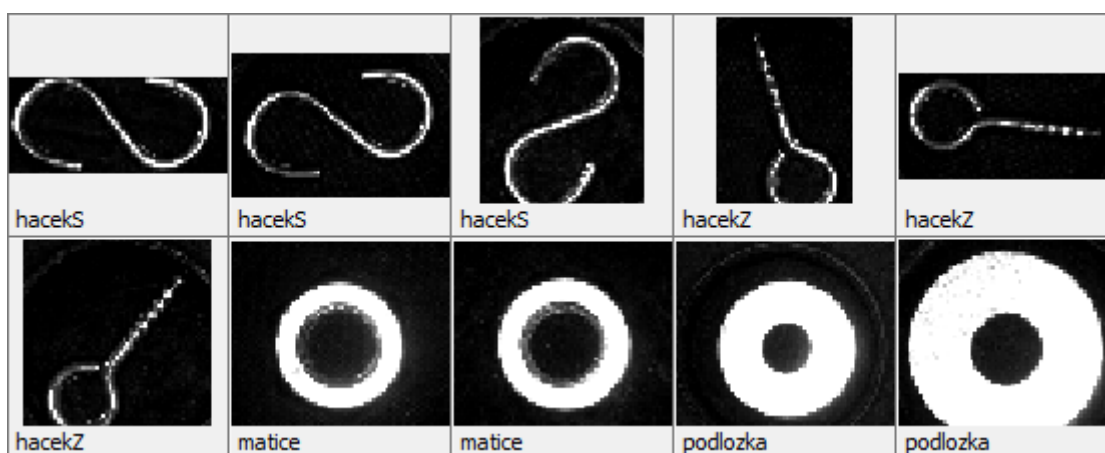
Obr. 28 Druhá, třetí a čtvrtá záložka nástroje “Detekce objektu”

3. Třetí záložka je zodpovědná za data, která budou vyčtena z detekovaného dílu. Je zde možnost určit plochu, výšku, šířku, počet svislých nebo vodorovných segmentů, počet děr, libovolné faktory metody, procentuální vztah plochy vzhledem k celé pozorované ploše, rozmístění atd. Také zde určíme minimální a maximální rozměry objektu, aby program vyhodnotil konečný stav inspekce;
4. Dále můžeme přidat filtrační kritéria pro ta data, která jsme zvolili v bodě 3. Budou spojené vazbou s předchozí záložkou a pomocí nich můžeme určitý objekt ponechat nebo odstranit z konečného výsledku nástroje;
5. Poslední část je přidání minimálního a maximálního počtu nalezených objektů. V případě překročení tohoto počtu dostane mezikrok status “Fail”.

6.5 Nástroj “Classifier”

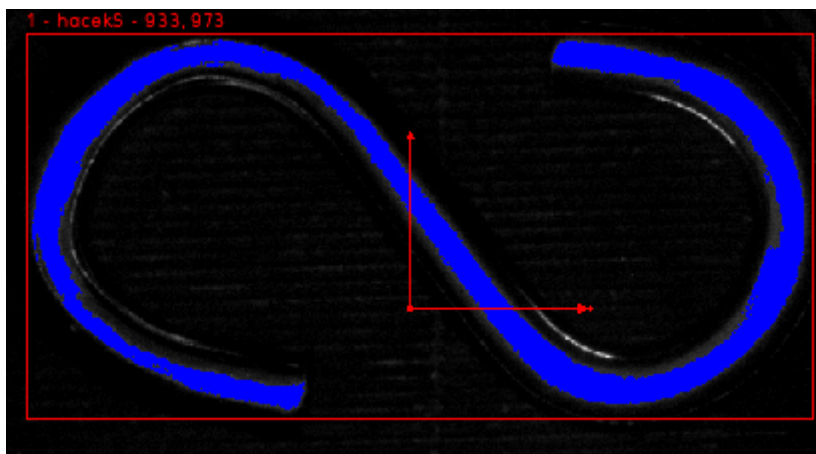
Mým zadáním je navrhnout úlohu pro práci s větším množstvím typů objektů. Po otestování několika způsobů, nejlepším z mého pohledu, byl “Classifier”. Tento nástroj může rozpoznat jakýkoliv předmět nezávisle na jeho tvaru, rozměru, poloze, otočení atd. Ale před jeho využitím ho musíme naučit rozpoznávat různé druhy a třídit je do odpovídajících skupin:

- Prvním nejdůležitějším bodem je vytvoření referenčního souboru:
 1. Zmačkneme tlačítko “Založit klasifikační soubor”, čímž otevřeme velké doplňkové okno podobné Vision Assistant;
 2. Pomocí tlačítka “File” dostaneme cestu umístění obrázků, na kterých můžeme pozorovat požadované součástky. Když chceme naučit “Classifier” odlišovat všechny díly, potřebujeme mít alespoň jeden snímek každého z nich (ale větší počet je výhodnější, protože upřesní tvar objektu);
 3. Zvolíme jednu z fotografií. Zobrazí se v oblasti zpracování;
 4. Vydělíme součástku průběžnou “zónou zájmu”, potřebujeme ji udělat co nejmenší, ale toto nemusí pokazit pohled detailu. Tímto vydělením vytvoříme jednotlivý vzorek, který ještě bude potřeba upravit;
 5. Pomocí speciálních záložek nastavíme určité parametry jako u nástroje “Detekce objektu”. Záložky obsahují údaje, jako výběr viditelnosti a metody rozpoznání dílu, odstranění rušivých vlivů a šumů na fotce atd. Tyto kroky budeme opakovat, pokud nevyužijeme všechny snímky nebo počet vzorků nebude dostatečný;



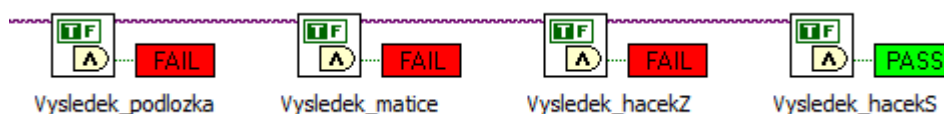
Obr. 29 Připravené vzorky

6. Dále musíme vytvořit nové skupiny. Každá bude mít svůj určitý název a odpovídat za zvolený druh dílu. Všechny vytvořené vzorky roztřídíme do těchto skupin (viz obr. 29);
 7. Zmačkneme tlačítko “ Naučit Classifier”. Tento krok zpracuje všechny vzorky a vazebně je přiřadí odpovídajícím skupinám. Předdefinovaný soubor v této době už bude připraven a můžeme zavřít doplňkové okno, což jej uloží na disk počítače a nastaví k němu cestu v odpovídajícím sloupci Vision Builderu.
- Dále v ostatních záložkách nástroje nastavíme stejné parametry a meze jako v předdefinovaném souboru. Bohužel nástroj sám je automaticky nespojuje, ale toto se ukáže jako plus pro rychlejší úpravy “Classifieru” v budoucnosti.
 - V tomto kroku nástroj už může samostatně vyhodnocovat obrázky a jediné co nám zbývá je přidat stav “Vyhovuje/nevyhovuje” pro každý díl pomocí limitních hodnot v poslední záložce;
 - Po zhodnocení pozorovaná součástka bude oddělená na obrázku červeným obdélníkem a nahoře uvidíme nadpis, říkající, k jaké skupině patří (viz obr. 30).



Obr. 30 Rozpoznaný háček S formy

Navíc jsem do inspekční části přidal 4 kroky (viz obr. 31), každý je spojen se svou skupinou “Classifieru”. Tyto kroky slouží pouze pro rychlejší ukázkou výsledků (označí typ součástky značkou “PASS”). Tímto bodem je zadání práce splněno a při spouštění celého cyklu dovolí lince třídit součástky automaticky bez zásahu operátora. Jediné, co nám zbývá je přidávat nové nádoby do zásobníku, až dojdou.



Obr. 31 Výsledky inspekce

6.6 Nástroj “Kalibrace snímku”

Dodatečným nástrojem Vision Builderu je “Kalibrace snímku”. Dovolí zpracovat obraz výměnou základních jednotek (pixelů) na reálné, například milimetry. Toto můžeme využít k velkému rozsahu cíle: od odlišování součástek stejného tvaru, ale různých rozměrů, až po zjištění závad díla. Také tento nástroj pomůže stanovit reálné rozměry obrobku, což můžeme uvést jako dodatečnou informaci do kroku “Výsledky” stavového diagramu. Funguje nástroj takto:

1. Na začátku založíme novou kalibraci, což otevře doplňkové okno podobně jako u “Classifieru”. Přiřadíme ji název a operátora;
2. Zvolíme jeden z pěti druhů kalibrace (4 pro ploché objekty a poslední pro zakřivené). První, nejzákladnější, přepočte pixely na milimetry podle známého rozměru, který zadáme na snímku. Ostatní většinou nabízí možnosti pro případy, kdy kamera zkreslí obraz nebo se nenachází kolmo nad snímaným objektem. Pro ukázkou jsem zvolil první možnost;
3. Následně je volba obrázku, na kterém označíme dvě tečky a zadáme v reálných jednotkách veličinu vzdálenosti mezi nimi do odpovídajícího sloupce. Existuje možnost volby základních známých teček z minulých oddílů;
4. Dále vložíme mřížku milimetrového souřadnicového systému. K dispozici jsou 3 možnosti: pomocí nuly a úhlu natočení osy X, nuly a jednoho bodu osy X nebo třemi definovanými tečkami. Uložíme celou kalibraci;
5. Teď můžeme pomoci nástroje “Caliper” měřit vzdálenosti na fotkách. Při správně nastavené kalibraci je možné dosáhnout přesnosti s tolerancí ± 1 mm.

7 Závěr

Prvním cílem mé bakalářské práce bylo seznámení s programem Vision Builder. Podle mého názoru, tento SW od firmy National Instruments je solidním příkladem pro analýzu problematiky rozpoznávání obrazu. Program je docela jednoduchý pro použití a po několika hodinách dovoluje samostatně vytvořit např. jednoduchou inspekci nějakého libovolného objektu na obrázku nebo snímku z kamery.

Dalším mým zájmem byla dopravníková linka IA 210 od firmy GUNT. Při seznámení s ní jsem zjistil, že není dokonalá: její původní model byl vyroben pro práci s PLC, po modifikaci v roce 2014 byla lince přidána možnost komunikovat s PC, ale zůstal problém manipulace jenom s malým množstvím typů objektu.

Pokračováním se stal návrh rozšíření modelu pomocí přidání nádoby, jako místa pro vkládání strojních součástek, která se vkládá do zásobníku a tímto způsobem umožňuje přemísťování součástky na pás. Vzhledem k tomu, že kamerový systém je umístěn kolmo nad pásem, nádoba nekamzí snímek obrobku, ale naopak přidává snímku ohraničení pomocí bočních stěn. Nádoba byla navržena podle parametru zásobníku, pak ručně upravena smírkovým papírem (pro lepší skluz v potrubí zásobníku) a nakonec obarvena (pro komunikaci s difuzním senzorem nad pásem). Dále nádoba získala těžší hmotnost přidáním metalické hmoty, která byla umístěna pod falešné dno. Tímto návrhem bylo splněno rozšíření modelu pro práci s větším množstvím typů objektů.

Následujícím krokem byl návrh úlohy, který dovolil odlišovat a klasifikovat různé strojní součástky včetně jejich třídění podle potřeby.

Při testování a práci s modelem dopravníkové linky byly největší fyzikální problémy spojeny se senzorem přítomnosti pod zásobníkem a pístem, který přemísťoval vzorky na pás. V budoucnosti pro maximální zdokonalení zkušební linky IA 210 bych doporučil vyměnit senzor za optický, což vyřeší potenciální nehody při práci s linkou.

8 Seznam použité literatury

CURTIN, D. *The Textbook of Digital Photography*. Massachusetts: Short Courses, 2007. 111s. ISBN: 1-928873-75-8.

FRÝDL, J. *Automatizace modelu výrobní linky s využitím rozpoznávání obrazu*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta strojní. Diplomová práce, 2014.

FRÝDL, J. *Rozpoznávání obrazu v prostředí NI Vision Builder*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta strojní. Bakalářská práce, 2012.

GONZALEZ, R.; WOODS, R. *Digital Image Processing*. New Jersey: Pearson Education, 2008. 103s. ISBN: 978-0-13-168728-8.

G.U.N.T. *IA 210 PLC Application: Materials Handling Process* [online]. c2017, poslední revize 04.04.2017 [cit. 2017-01-05]. Dostupné z WWW: <http://www.gunt.de/static/s3377_1.php>.

HLAVÁČ, V.; SEDLÁČEK, M. *Zpracování signálů a obrazů*. Praha: ČVUT, 2007. 255s. ISBN: 978-80-01-03110-0.

NATIONAL INSTRUMENTS. *NI Vision Builder for Automated Inspection Tutorial* [online]. c2011, poslední revize 04.04.2017 [cit. 2016-11-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.ni.com/pdf/manuals/373379h.pdf>>.

SOJKA, E. *Digitální zpracování a analýza obrazů*. Ostrava: VŠB, 2000. 133s. ISBN: 80-7078-746-5.

ŠONKA, M.; HLAVÁČ, V.; BOYLE, R. *Image processing, Analysis, and Machine Vision*. New York: Ricoh Innovations Corp., 2012. 555s. ISBN: 978-1-4899-3216-7.